



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Proceso de erosión de suelo en cuatro sistemas de
cobertura vegetal en el municipio
de Boaco, 2006

AUTORES

Br. Edgard Martinez Briceño
Br. Luis Alberto Hernandez Ruiz

ASESOR

Ing. Msc. Gerardo U. Murillo Malespín

Trabajo presentado a la consideración del
honorable tribunal examinador, para optar al
título de ingeniero Agrícola.

Managua, Nicaragua, mayo 2009



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Proceso de erosión de suelo en cuatro sistemas
de cobertura vegetal en el municipio
de Boaco, 2006

AUTORES

Br. Edgard Martinez Briceño

Br. Luis Alberto Hernandez Ruiz

ASESOR

Ing. Msc. Gerardo U. Murillo Malespín

Trabajo presentado a la consideración del
honorable tribunal examinador, para
optar al título de ingeniero Agrícola.

Managua, Nicaragua, mayo 2009



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Agronomía, como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola

Ing. Msc. David López

Presidente

Ing. William Gámez

Secretario

Ing. Víctor M. Calderón Picado

Vocal

Managua, 20 de Mayo del 2009

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	Página
DEDICATORIAS	<i>i, ii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii, iv</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>v</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>vi</i>
ÍNDICE DE FOTOS	<i>vii</i>
RESUMEN	<i>viii</i>
ABSTRACT	<i>ix</i>
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	2
III MATERIALES Y METODOS	3
3.1 Generalidades del área de estudio.....	3
3.1.1 Descripción física.....	3
3.2 Diseño de campo.....	3
3.2.1 Análisis de los datos	4
3.3 Manejo del ensayo y metodología.....	4
3.4 Datos tomados a nivel de campo.....	5
3.4.1 Altimetría	5
3.4.2 Muestreo de suelo.....	6
3.5 Metodología de descripción del perfil de suelo.....	7
3.6 Ecuación Universal de Pérdida de suelo.....	7
3.7 Manejo agronómico.....	8
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4.1 Pérdida de suelo.....	10
4.2 Factores de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	12
4.2.1 Factor erosividad "R".....	12
4.2.2 Factor erodabilidad del suelo "K".....	23
4.2.3 Factor longitud de pendiente "L".....	26
4.2.4 Factor de gradiente de pendiente "S".....	26

4.2.4.1	Comportamiento de la longitud, gradiente y perfil de pendiente en el área de estudio.....	27
4.2.5	El factor de cobertura vegetal "C"	31
4.2.6	El factor del método de control de erosión "P".....	32
4.2.7	Pérdidas potenciales "A".....	32
V	CONCLUSIONES.....	34
VI	RECOMENDACIONES.....	36
VII	BIBLIOGRAFIA.....	37
VIII	ANEXOS.....	39
8.1	Pérdidas de suelo reales en cada uno de los tratamientos por evento lluvioso en el periodo de julio 2006 hasta enero 2007. Finca "La Bombilla". Boaco.....	39
8.2	Precipitación registrada por la estación meteorológica establecida en el área de estudio. Boaco. La Bombilla.2006.....	40
8.3	Valores de la ecuación universal de pérdida de suelo por cada tratamiento. Boaco. La Bombilla.....	40
8.4	Resultados de los análisis físico realizados por parcelas. Boaco. La Bombilla.2006.....	41
8.5	Resultados de los análisis químicos realizados por parcelas. Boaco. La Bombilla.2006.....	42
8.6	Nomograma de Erodabilidad del suelo.....	43
8.7	Resumen meteorológico diario.....	45
8.8	Información General. Boaco.....	46
8.9	Mapa Ubicación de Parcelas de Erosión. Boaco. "La Bombilla".....	47
8.10	Calibración de tanques.....	48
8.11	Relieve de las parcelas. Boaco. "La Bombilla", 2006.....	49
8.12	Cálculos de erosividad por evento lluvioso. Boaco. "La Bombilla".....	50
8.13	Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo.....	51
8.14	Escurrecimiento superficial y erosividad. Boaco. "La Bombilla", 2006.....	51
8.15	Pérdidas de suelo utilizando la EUPS. Boaco. "La Bombilla", 2006.....	51
8. 16	Tipo de Suelo. Boaco. "La Bombilla", 2006.....	52

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con todos mis esfuerzos y sacrificios, se lo dedico en principio a Dios.

A mis padres Martha Rufina Ruiz Rivas y Luis Alberto Hernández Gonzales, que con su sabiduría, consejos y sus principios morales y éticos me han conducido por el buen camino, para seguir enfrentando los nuevos retos de la vida.

A mi hermana Jennifer del Carmen Hernández Ruiz y mi tía; Dominga Rivas Gutiérrez por estar conmigo, en las situaciones más difíciles de mi vida y carrera y el apoyo moral que ellas me dieron.

Luis A. Hernandez Ruiz

DEDICATORIA

*Nada es barato ni caro, todo es igual en la vida...
Las cosas valen tan sólo lo que cuesta conseguirlas
Francisco Villaespesa*

A todos mis verdaderos amigos, esos seres extraños que pocas veces aparecen en nuestras vidas, seres sin envidia, sin egoísmo y que muchas veces marcan las pautas de nuestra dirección, los he visto en mi vida y son extraños.

Dedico, también, este trabajo en memoria a personas conocidas que se quedaron en el camino sin poder continuar porque vieron truncadas sus vidas y en consecuencia, también sus sueños, especialmente a Bayardo E. Centeno Gadea *in memoriam*.

A todos mis compañeros de universidad porque siempre fueron de apoyo, siempre fuimos un gran grupo, con caídas y glorias, precisamente por eso fuimos interesantes.

Edgard Martínez Briceño

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria y al laboratorio de suelos y agua por prestarnos la oportunidad de enseñarnos los diferentes métodos de trabajo y en especial a Doña Cornelia Palacios.

A Sabino por apoyarme en la fase de campo de este estudio y a su familia ya que son personas honradas, honestas, responsables y con un gran espíritu de superación, en esta vida que cada vez está más difícil.

Al Ing. Msc. Víctor Manuel Calderón Picado por el apoyo incondicional, que nos demostró a lo largo de la elaboración de la tesis, el cual es un gran amigo.

Al Ing. Msc. Gerardo Murillo por su asesoría en la planificación y seguimiento de este tema de investigación. Además ha sido excelente amigo durante la asesoría.

Al programa de Doctorado de la UNA-SLU por su colaboración directa.

Luis A. Hernández Ruíz

AGRADECIMIENTOS

Uno es un número pequeño para lograr grandezas.

John C. Maxwell

A Dios, espíritu divino que habita en cada átomo existente en esta tierra, y a nuestro modelo más grande de ser humano, Jesús.

Agradecimientos especiales a mis maestros de Universidad: a los profesores Gerardo Murillo, Víctor Calderón y para mi buen amigo y profesor Emilio Marrero; a todos y cada uno de los maestros universitarios que durante este tiempo me manifestaron su amistad y enseñanza desinteresada; a todos mis maestros de Primaria y Secundaria, en cualquier lugar del mundo en donde estén, muy particularmente al profesor Manuel Rivas quien vió en mí el espíritu de conquista que hasta ese momento yo no había podido ver.

Al círculo social más importante de mi vida, mi Familia, que siempre estuvieron pendientes de mi situación, y el día de hoy con entera satisfacción puedo decir que este logro no es sólo mío sino también de ellos.

A mi compañero de tesis, Luís Hernández quien me apoyo en gran manera y por el cual esta labor se cumplió y este trabajo hoy es una realidad.

Edgard Martínez Briceño.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Métodos para el análisis químico y físico del suelo. LABSA.....	7
2 Pérdida de suelo promedio en cada tratamiento finca Boaco, "La Bombilla", 2006.....	10
3 Análisis de pérdida de suelo por el método de T de student.....	12
4 Índice de erodabilidad en tres formas de cálculo en el Municipio de Boaco, 2006.....	24
5 Relación de los valores de erodabilidad bajo diferentes formas de cálculo en parcelas de erosión. Boaco, "La Bombilla", 2006.....	25
6 Distribución de media de t-student en el índice de erodabilidad.....	26
7 Valores de Cobertura (C).....	30
8 Factor de método de control de la erosión 'P'	32
9 Comparación de la pérdida de suelo calculada por la E.U.P.S y la pérdida de suelo por medio de las muestra de agua con sedimentos. Finca "La Bombilla". 2006.....	33
10 Propiedades físicas y químicas de cada horizonte diagnostico Boaco, 2006.....	46
11 Nomenclaturas y definiciones.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1	Comportamiento de la erosividad vrs. Pérdida de suelo. Boaco 2006.....13
2	Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de pasto (<i>Panicum maximun, Jacq.</i>) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.....15
3	Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de asocio maíz – frijol (<i>Zea mays L.- Phaseolus Vulgaris</i>) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.....17
4	Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.....19
5	Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de frijol (<i>phaseolus Vulgaris</i>) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.....21
6	Gradiente del perfil de pendiente en parcelas con tratamiento de pasto. `La Bombilla´, Boaco, 2006....28
7	Gradiente de pendiente en parcelas con tratamientos de asocio (maíz- frijol). `La Bombilla´, Boaco, 2006.....28
8	Gradiente de pendiente en parcelas con tratamientos de maíz. `La Bombilla´, Boaco, 2006.....29
9	Gradiente de pendiente en parcelas con tratamiento de frijol. `La Bombilla´, Boaco, 2006.....30
10	Porcentaje de cobertura pasto, maiz, frijol y asocio (maiz-frijol). `La Bombilla´, Boaco, 2006.....31

ÍNDICE DE FOTOS

Foto		Página
1	Tanques recolectores de sedimentos. La Bombilla. 2006.....	44
2	Descripción del perfil del suelo en la Finca “La Bombilla”, Boaco 2006.....	53

RESUMEN

El área experimental está ubicada en el departamento de Boaco, municipio de Boaco a 88 Km. de la capital. Su posición geográfica se ubica entre los 12° 27'57.3" de latitud norte y los 85°39'47.5" de longitud oeste, el tipo de suelo según su orden se clasifica en molisol, con pendientes entre 23% y 44%. El objetivo fue analizar el proceso de erosión durante la estación lluviosa, mediante el manejo de diferente cobertura vegetal tal como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Maíz (*Zea mays*) y pasto guinea (*Panicum maximun*), se establecieron 8 parcelas de erosión con cuatro tratamientos y dos repeticiones, cuyas dimensiones fueron 50 m. de largo y 15 m. de ancho, para un área útil de 750 m². Durante el período del estudio fueron registrados un total de sesenta y cinco eventos lluviosos, siendo 11 de ellos los más importantes, alcanzando un total de 426,23 MJmm/ha.hr. Septiembre se perfila como el mes con mayores ocurrencias de eventos erosivos con una energía cinética que alcanzó valores de 248.8 MJmm/ha.hr. Los resultados sugieren que el tratamiento con cubierta vegetal de frijol presenta las mayores pérdidas de suelos con 2.952 ton/ha. Posteriormente el pasto con 0.205 ton/ha, después se encuentra el maíz con 0.157 ton/ha y el maíz-frijol con las pérdidas de suelo más bajas con 0.147 ton/ha. Las pérdida de suelo calculada por la E.U.P.S (Wischmeier et al, 1978) y la pérdida de suelo reales, muestran notable diferencia, (201.44 y de 6.923 ton/ha, respectivamente). El índice de erodabilidad de suelo no difiere en lo absoluto al determinarlo por diferentes metodologías. El factor de cobertura vegetal "C" presentó una considerable protección al suelo, dando como resultados pérdidas de suelo muy bajas. Al analizar el comportamiento de las pérdidas de suelo, logramos reconocer que las pérdidas de suelos en todos los eventos fueron relativamente bajos, en comparación con los niveles de tolerancia propuestos por Mennering (1981) y Schertz (1983). Se utilizó la Ecuación universal de pérdida de suelo (E.U.P.S), la cual está compuesta por un total de 6 parámetros como $R = 38.75$ MJmm/ha.h, $K = 0.22-0.27$ ton ha h /ha MJ mm, $S = 1.6$, $L = 4.54$ a 14.63 , $C =$ Pasto= 0.15, Maíz= 0.25, Frijol= 0.94 y asocio de maíz-frijol= 0.60. Para el valor de control de erosión $P = 0.90$. Para el análisis de la información; se utilizó como método estadístico t student con un grado de significancia del 95 % los efectos de las diferentes variables relacionadas al proceso de erosión del suelo resultaron no significativos.

ABSTRACT

This research area is located in Boaco department to 88 km from the capital. Its geographic location is between $120^{\circ} 27' 3''$ north latitude and the $85^{\circ} 39' 47.5''$ west longitude the sort of ground is according its classification is mollisol, with slopes among 23% and 44%. The objective was analyzing the erosion process during the rainy season, through the handling of different vegetable coverage such as bean (*phaseolus vulgaris*) corn (*Zea Mays L*) and guinea grass (*Panicum Maximun*). It was established 8 rainy plots with four treatments and two repetitions, whose dimensions were 50 meter long and 15 meter wide, to have a useful area of 750 m^2 . During the time of the research were registrations a total of sixty five rainy events being eleventh of them the most important, reaching a total of 426,23 MJmm/ha.hr, September it's the month with most erosive events with a cinetic energy that reached values of MJmm/ha.hr. The result suggest that the treatment with vegetable coverage of beans has the most loss of ground with 2.952 ton/ha. Subsequently the grass with 0.205 ton/ha, after it is found the corn with 0.157 ton/ha and the bean and corn with loss of ground very low with 0.147 ton/ha. The loss of ground it is calculated by the E.U.P.S. (Wischmeier et al, 1978) and the loss of ground really show distinguished difference (201.44 and of 6. 923 ton/ha respectively). The rate the erodability of the ground not differ absolutely to the determinate it the several methodologies. The factor of vegetable coverage "C" presented a considerable protection of the ground, showing as the results the loss of ground very low. To analyze the behave of the loss of ground, we reach to recognize that the loss of ground in all events were relatively low in comparison with the level of tolerance proposed by Mennering (1981) and Schertz (1983). It was used the universal equation of loss of ground (E.U.P.S.), which is composed by a total of six parameter such as $R=38.75 \text{ MJmm/ha.hr}$; $K= 0.22 - 0.27 \text{ ton/ha.hr/ha.MJmm}$; $S= 1.6$; $L= 4.54 \text{ to } 14.63$; C (in grass 0.15, corn 0.25, bean 0.94 and bean corn associated 0.60). To the value of control of erosion $P= 0.90$. To analyze the information, it was used as statistic method t student with a grade of significance of the 95%. The effects of the different variables related to the process of erosion of the ground results weren't significant.

I. INTRODUCCION

El Relieve del Pacífico de Nicaragua es muy joven, está expuesto a los procesos exógenos, el material superficial se erosiona en grandes cantidades durante las lluvias torrenciales. La capacidad de los cauces muchas veces es insuficiente, por lo que, a menudo, las ciudades y poblados sufren inundaciones. Los movimientos de ladera son fenómenos geológicos de evolución del relieve y figuran entre los procesos más frecuentes que afectan la superficie terrestre. Las zonas más afectadas por problemas de inestabilidad de laderas son la cadena volcánica y las regiones montañosas del norte y centro de Nicaragua. (INETER 2005).

En Nicaragua, la deforestación en áreas de montaña es el principal paso hacia la degradación de los suelos. Este cambio de uso de la tierra con vocación forestal a un uso agrícola no sostenible, lleva a los suelos a una erosión severa. Uno de los tipos de erosión que causa mayor impacto bajo estos cambios, es la erosión hídrica, que en nuestro país causa pérdidas de suelo de gran magnitud y afecta directamente el rendimiento de la producción agropecuaria. Se estima que aproximadamente 7,7 millones de hectáreas de territorio nacional presentan grados variables de erosión, 3,6 millones de hectáreas presentan un grado de erosión catalogados de fuertes a severos (Toruño, P. 2008).

Por lo tanto, debido a las consecuencias que ocasiona la erosión en el campo de la producción agropecuaria, se deriva el interés de muchos investigadores y conservacionistas de suelos en implementar prácticas de control en diversas zonas de nuestro territorio nacional. Es importante señalar que las zonas más susceptibles a la erosión son aquellas cuyo relieve es predominantemente accidentado (44% del territorio nicaragüense), por tal razón nuestro estudio se centra en el departamento de Boaco, lugar que se caracteriza por tener una topografía irregular con gradientes de pendiente que oscilan entre el 20% y el 75%. La región está asentada en la cuenca Malacatoya a 1000 msnm, en promedio. Hasta la fecha en esta zona los estudios relacionados a muchas áreas del campo hidrológico están escasamente fundamentados, la bibliografía aborda la temática, más, desde un enfoque ambientalista general que desde una perspectiva investigativa que permita profundizar más sobre el tema. Ramírez P, V, C. (2005).

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar los factores que influyen en el proceso de erosión hídrica, mediante el uso de parcelas de erosión, bajo cubierta vegetal de frijol, maíz, pasto y asocio (maíz-frijol), en tierras de laderas, en el municipio de Boaco, en la estación de invierno del 2006.

Objetivos Específicos.

- Calcular las pérdidas potenciales de suelo en los sistemas de cobertura establecidos.
- Comparar los resultados de pérdida de suelo estimado a través de la EUPS con los resultados de pérdidas reales.
- Determinar el índice de erodabilidad del suelo “K” mediante diferentes formas de cálculo.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Generalidades del área de estudio

El municipio de Boaco se encuentra ubicado en el centro geográfico de Nicaragua, su actividad económica primaria es la producción agropecuaria siendo los rubros principales la ganadería, la leche, y no menos importante la producción de granos básicos. El departamento cuenta con una población de 317,000 habitantes (INEC, 2006).

3.1.1. Descripción Física:

La topografía es irregular y su paisaje es montañoso; sin embargo es menos abrupto en los municipios situados más al norte, posee elevaciones entre los 200 y 300 m. sobre el nivel del mar. El cerro de la Vieja es la altura culminante del municipio de Boaco con 1,020 m.

El Municipio de Boaco tiene una superficie de 1,086.81 km², (26% del área total del departamento), la cabecera municipal esta a una altura aproximada de 360 m.s.n.m.

Boaco posee un clima variado, que va desde trópico húmedo de sabana de vegetación, a bosque tropical de selva, llegando a tener temperaturas entre 27° y 30° centígrados en época de verano , logrando alcanzar una temperatura mínima de 18 centígrados. °C.

El área experimental está ubicada en el municipio de Boaco, entre las coordenadas 12° 27'57.3" de latitud norte y 85°39'47.5" de longitud oeste (**Véase anexo 8.9**).

3.2. Diseño de Campo.

El ensayo está basado en la metodología de parcelas de erosión y para lo cual se establecieron cuatro tratamientos con dos repeticiones cada uno.

Descripción de los tratamientos:

Tratamiento 1 (T1) cobertura natural de pasto.

Tratamiento 2 (T2) Asocio Maíz-Frijól (variedad NB-6 y DOR-364 respectivamente).

Tratamiento 3 (T3) cobertura Maíz (variedad NB-6.)

Tratamiento 4 (T4) cobertura Frijól (variedad DOR-364.)

3.2.1. Análisis de los datos:

Se utilizó el método estadístico t – student con un grado de significancia del 95%, a nivel de prueba, con el fin de comparar los efectos de las diferentes variables que afectan el proceso de erosión del suelo. Dado por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{dado que: } S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$$

Donde:

\bar{x} : Es la media de la muestra μ : Es la media de la población
n: Número total de observaciones S: Desviación estándar de la muestra

3.3. Manejo del ensayo y metodología.

El estudio se realizó en condiciones naturales, tanto climáticas como edáficas, en dos etapas bien establecidas. La primera etapa, que fue la de campo, la cual consistió en la delimitación del área de estudio e instalación de 8 parcelas de erosión con dimensiones de 15 m de ancho y 50 m de largo cada una en dirección a la pendiente dominante.

Las parcelas fueron delimitadas con bordes de tierras de 25 cm de altura y 50 cm de ancho. Pendiente abajo, en sentido perpendicular a la dirección de la pendiente, se instaló un canal de plástico recolector de forma rectangular, cuyas dimensiones son de 6 pulgadas de ancho con una longitud de 15m de largo, con una pendiente del 0 – 5 % en dirección al centro de la parcelas donde fue colocado una boquilla que conecta directamente a los tanque almacenadores del agua y sedimento.

La instalación de los tanques de almacenamiento fue previamente graduada y calibrada cuidadosamente. (**Véase anexo 8.10**), se realizó una excavación de 6.8 m³ para la colocación de los 2 tanques recolectores, los cuales están unidos por un tubo de 2 pulgadas. El segundo tanque recoge una cantidad de 1/7 de sedimentos más agua, una vez que el primer tanque llega al límite de su capacidad de almacenamiento máxima.

En la época de postrera se sembraron dos parcelas de frijol, de maíz y maíz – frijol, respectivamente, esta siembra se hizo al espeque depositando 4 semillas por golpe, tomando en cuenta la siembra tradicional de la comunidad.

Para medir el porcentaje de cobertura vegetal se utilizó un marco de 1m^2 , que en su diseño contaba con una rejilla que formando cuadrículas de 100 cm^2 y en cada uno de sus vértices se tomaba como punto de observación, obteniendo para cada muestreo un total de 100 observaciones por metro cuadrado.

Los registro de duración y láminas de agua precipitadas por unidad de tiempo de cada evento lluvioso, fue realizada mediante un pluviógrafo (Wilh Lambrecht, modelo U4T, mecánico y de reloj) que se instaló dentro del área.

La recolección de las muestras de sedimento y agua (alícuota), se realizó sistemáticamente después de cada evento lluvioso. Consistió en remover los sedimentos que se encontraban dentro del tanque hasta obtener una mezcla homogénea de la cual se extraía un litro de agua más sedimentos. Cada muestra cuenta con la fecha, volumen de agua y sedimento de cada tanque, número de la parcela y número de repetición para ser ingresada al laboratorio.

En la fase de laboratorio se realizaron los análisis físicos y químicos de las muestras tomada como: volumen de agua, peso del suelo seco, análisis granulométrico de los sedimentos, para ellos se utilizaron los métodos del laboratorio de suelos y agua de la Universidad Nacional Agraria (LABSA)

3.4. Datos tomados a nivel de campo:

3.4.1. Altimetría:

Se realizó un levantamiento altimétrico haciendo uso del nivel de ingeniero marca Kern Swiss, modelo GKO con un margen de error $\pm 7\text{ mm}$, con el cual se establecieron cuadrículas de 25 m^2 en todo el campo con el propósito de reflejar la micro topografía de cada una de las parcelas en estudio. Se definió el Banco de nivel con un GPSMAP 76C marca Garmin con un margen de error $\pm 3\text{ metros}$. El banco de nivel fue geo -referenciado a fin de conocer las elevaciones en cada uno de los vértice de las cuadrículas en todo el

campo. Con los resultados obtenidos se creó un banco de dato el cual fue procesado mediante el software SURFER versión 7.1 el cual nos muestra las condiciones del relieve en cada una de las parcelas en estudio.

3.4.2. Muestreo de suelo:

Para determinar propiedades y características edafológicas inherentes a las exigencias de los objetivos planteados en el presente estudio, se realizó un muestreo de suelo cuyos resultados se presentan en el **cuadro 1**. La metodología empleada en tal proceso consistió en dividir cada parcela en 3 secciones de igual dimensión: parte alta, media y baja. De cada una de las secciones se extrajeron cinco sub-muestras en sentido zig- zag a una profundidad de 0 – 20 cm. haciendo uso del barreno de espiral. Las cinco sub-muestras se homogenizaron, se extrajo una muestra representativa de 1kg la cual se trasladó al laboratorio de suelos y agua en la Universidad Nacional Agraria (LABSA), para su posterior análisis.

Cuadro 1. Métodos para el análisis químico y físico de suelo. LABSA.

Procedimiento	Método	Descrito por	Código de laboratorio
Densidad aparente	Método del cilindro	(Coile,1936)	LABSA-FS-P-01
Densidad aparente	Picnómetros	(Dana y Ford, 1982)	
% de humedad	Suelo secado al aire	Proceso utilizado en LABSA	LABSA-FS-P-07
Textura	Pipeta de Robinsón	(Kilmer y Alexander, 1949)	LABSA-FS-P-03
Materia orgánica	Walkley-Black	(Walkley-black, 1934)	LABSA-QS-P-02
Nitrógeno total	digestión Kjeldahl	(Bremner y Mulvaney, 1982)	LABSA-QS-P-05
Fósforo disponible	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)	LABSA-QS-P-09
Potasio disponible	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)	LABSA-QS-P-10
Micronutrientes (hierro, cobre, manganeso y zinc)	Olsen modificado	(Thien y Myers, 1992)	LABSA-QS-P-11
Macronutrientes (K, Ca, Mg, Na)	Walkley-Black	(Nelson y Sommers, 1996)	LABSA-QS-P-03
Bases intercambiables	Extracción en acetato de amonio 1N, Ph 7	(IGAC, 1973)	LABSA-QS-P-16
Capacidad de intercambio catiónico	Extracción en acetato de amonio 1N, Ph 7	(IGAC, 1973)	LABSA-QS-P-15

3.5. Metodología de Descripción del perfil de suelo

Se realizaron calicatas de 1m x 1.5m x 1.20m para la descripción de los horizontes de diagnóstico del área de estudio en base a la topo-secuencia presentada y lograr reconocer propiedades físicas de cada horizonte y limitación internas y externas del suelo, a su vez se extrajeron muestras de cada horizonte para conocer las propiedades físicas – químicas y granulometría del suelo y sub suelo, para ello se utilizo la guía de la **FAO.1977**

3.6. Ecuación universal de pérdida de suelo

Está compuesta por un total de 6 parámetro como la erosividad(R), erodabilidad (k), gradiente de la pendiente(S), longitud de la pendientes (L), cobertura vegetal(C), y las prácticas de control de erosión (P).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

Factor A: Es la pérdida de suelo (ton.ha.a.)

Factor R: Es el factor de erosividad (Mjmm/ha.hr.).

Factor K: Es el factor de erodabilidad obtenido a través de 5 componentes del suelo; textura, Materia Orgánica, estructura y permeabilidad (Mjmm/ha.hr/ton.ha.a.).

Factor L: Se calcula a través de la fórmula para la cual se necesita conocer la longitud, en el caso del estudio realizado son 50 metros (adimensional)

Factor S: Este se determina conociendo la pendiente del terreno, en nuestro caso la, pendiente va de 23 hasta 43%.(adimensional)

Factor C: Este se calculo a través de la maya que tenía una dimensión de 1m² obteniendo el porcentaje de plantas que se encontraba en dicha dimensión, y posteriormente haciendo una relación con el área total de la parcela (adimensional)

Factor P: Este factor lo igualamos a 0.01 (adimensional)

3.7. Manejo Agronómico

La parte agronómica que se estableció fue de forma tradicional, que contempla la siembra al espeque en contorno utilizada por los agricultores en la zona.

La preparación de suelo consistió en limpieza, ronda, corte y quemando los residuos para la incorporación. La variedad de frijol a sembrar fue Dor-364, resistente a las enfermedades de mosaico común y mosaico dorado e intermedia en las enfermedades de roya, bacteriosis, mustia hilachosa, mancha angular y antracnosis.

En el cultivo del frijón (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrado al espeque se depositó 3-4 semillas por golpe, con una distancia entre plantas de 30 cm y 60 cm entre surco. La siembra se hizo en postrera el 8 de septiembre, hasta la cosecha que fue el 26 de noviembre

2006. Para la fertilización se utilizó completo 10-30-10 y urea al 46% a razón de 1.5 quintales por manzana, esta última se aplicó al momento de la siembra y 20 días después de sembrado; 8 días después se realizó la primera limpieza.

Para la siembra del maíz (*Zea mays*), la parte agronómica se estableció la siembra al espeque y en contorno, manejo utilizado por los agricultores en la zona. La preparación de suelo consistió en limpieza del terreno esto se hizo una semana antes de la siembra quemando los residuos para la incorporación. La variedad a sembrar fue NB-6, esta es una variedad intermedia, que tolera bajos niveles de fertilidad del suelo y sequía irregular, y además es tolerante al achaparramiento

El cultivo del maíz sembrado al espeque se depositó 3-4 semillas por golpe, con una distancia entre planta de 20 cm y entre surco de 80 cm para una densidad de siembra de 35 000 plantas por manzana. La siembra se hizo en postrera el 8 de septiembre, hasta la cosecha que fue el 28 de noviembre 2006.

El pasto establecido en la zona de estudio es pasto guinea (*Panicum maximum*, Jacq.) a este no se le dió ningún tipo de manejo. El manejo agronómico que se le dió al tratamiento de asocio (maíz-frijol), consistió en la siembra al espeque y en contorno, 3 a 4 semillas por golpe, por cada cultivo, se sembró la mitad superior de frijol y la mitad inferior de maíz, aplicando el mismo manejo que los tratamientos anteriores en fertilización y limpieza.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Pérdida de suelo

Durante el período del estudio fueron registrados un total de sesenta y cinco eventos erosivo, siendo 11 de ellos, desde el punto de vista de remoción de pérdida de suelo los más importantes. El promedio anual para este año 2006, fue de 91.69 mm y una precipitación anual de 1100.3 mm, cabe destacar que dicho año tuvo la influencia de un período prolongado de sequía debido al fenómeno del niño. (INETER, 2006).

Cuadro 2. Pérdida de suelo promedio en cada tratamiento finca "La Bombilla", Boaco, 2006.

Tratamiento	Cubierta vegetal	Parcela	Pérdidas de Suelo (ton/ha/año)
T1	Pasto	P1	0.263
	Pasto	P5	0.147
promedio			0.205
T2	Asocio	P2	0.069
	Asocio	P7	0.226
Promedio			0.147
T3	Maíz	P4	0.109
	Maíz	P6	0.205
Promedio			0.157
T4	Frijol	P3	5.365
	Frijol	P8	0.539
Promedio			2.952

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B., E.

El cuadro 2 muestra que el tratamiento 4 con cubierta vegetal de frijol presenta las mayores pérdidas de suelos con 2.952 ton/ha. Le sigue, en orden descendente, el pasto con 0.205 ton/ha, después se encuentra el maíz con 0.157 ton/ha y el maíz-frijol con las pérdidas de suelo más bajas con 0.147 ton/ha.

A los 13 días después de la siembra (DDS), en una etapa fisiológica inicial del cultivo de frijol se presentaron eventos lluviosos erosivos, aun cuando la cubierta vegetal protectora era limitada y deficiente para disipar la energía cinética de las gotas de lluvia y con ello proteger el suelo.

En el tratamiento del asocio maíz-frijol se obtuvieron las menores pérdidas de suelo, esta información reafirma que la combinación de cultivos, permite disminuir los riesgos erosivos dada la condición de persistencia de una cubierta vegetal que permita interceptar la agresividad de las gotas de lluvia, contrarrestando la energía cinética del agua y reduciendo, de tal forma, el proceso erosivo.

Desde el punto de vista de erosión o pérdida de suelo, los resultados que se obtuvieron durante el proceso de estudio suman un total de 6.923 ton/ha entre todos los tratamientos, comprendido en un periodo de siete meses en época lluviosa tiempo que duró dicho estudio. En contraste con los resultados obtenidos por Mendoza R. B. (1997) realizado en la cuenca "El Pital" durante 3 años consecutivos en cuyo caso los valores en total no sobrepasaron las 4 ton/ha año, un cuarenta por ciento menos de pérdida que las obtenidas por nosotros, aun cuando la precipitación registrada en nuestro caso fue menor que la registrada por Mendoza. Sin embargo se debe tomar en cuenta que este autor incluyó dentro de sus tratamientos obras de conservación de suelo en primer plano siendo estas, el uso de bordos de infiltración mecánicos y siembra de *Gliricidia Sepium J.* como barreras vivas, tres años antes de la siembra del cultivo, más la incorporación de biomasa del mismo. En el caso de nuestro trabajo la única obra de conservación que se utilizó fueron los cultivos en contorno, siendo así, es de suponer que los primeros días después de la siembra del cultivo el suelo estará susceptible a la erosión puesto que los periodos de mayor riesgo erosivo son aquellos cuando los cultivos presentan menor cobertura vegetal, (Mendoza, 1997). Aun así, ambos resultados están siempre por debajo de los índices de tolerancia internacional de pérdida de suelo propuesto por Wischmeier, (1978) en el cual se dice que la intensidad de amenaza es baja y tolerable cuando obtenemos perdidas de suelo de 5 – 10 ton/ha/año **(Véase anexo 8.13).**

Es importante señalar que la cantidad de muestras tomadas durante el proceso fueron variables para los diferentes tratamientos siendo así el pasto ocupa el mayor porcentaje de datos tomados (27%), seguido por el tratamiento maíz- frijól (25%), frijól (25%), y en último lugar el maíz (23%). **(Véase anexo 8.1)**

Cuadro 3. Análisis estadístico de pérdidas de suelo (t-student)

Pérdida de suelo por el método de t Student												
Tratamiento	Parc. 1	Parc. 2	media de la muestra	media poblacional(μ)	n	X	$\sum X^2$	$(\sum X)^2$	$(\sum X)^2/n$	\sqrt{n}	s	t student
T1	0.263	0.147	0,87	0,16	8	6.92	29.27	47.89	5.60	2,83	1.84	1.09
T2	0.069	0.226										
T3	0.109	0.205										
T4	5.365	0.539										

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

Mediante el método de t-student a como se muestra en el cuadro 3 no existen diferencias significativas entre los tratamientos maíz, frijol, maíz-frijol, pasto. Con un valor de 1.09.

Se demuestra estadísticamente mediante este método que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, lo que nos indica que aun sembrando cualquier cultivo de los propuestos en este estudio, estadísticamente, los resultados de pérdidas de suelo se mantendrán por debajo de los índices de tolerancia propuesta por Wischmeier.

4.2. Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

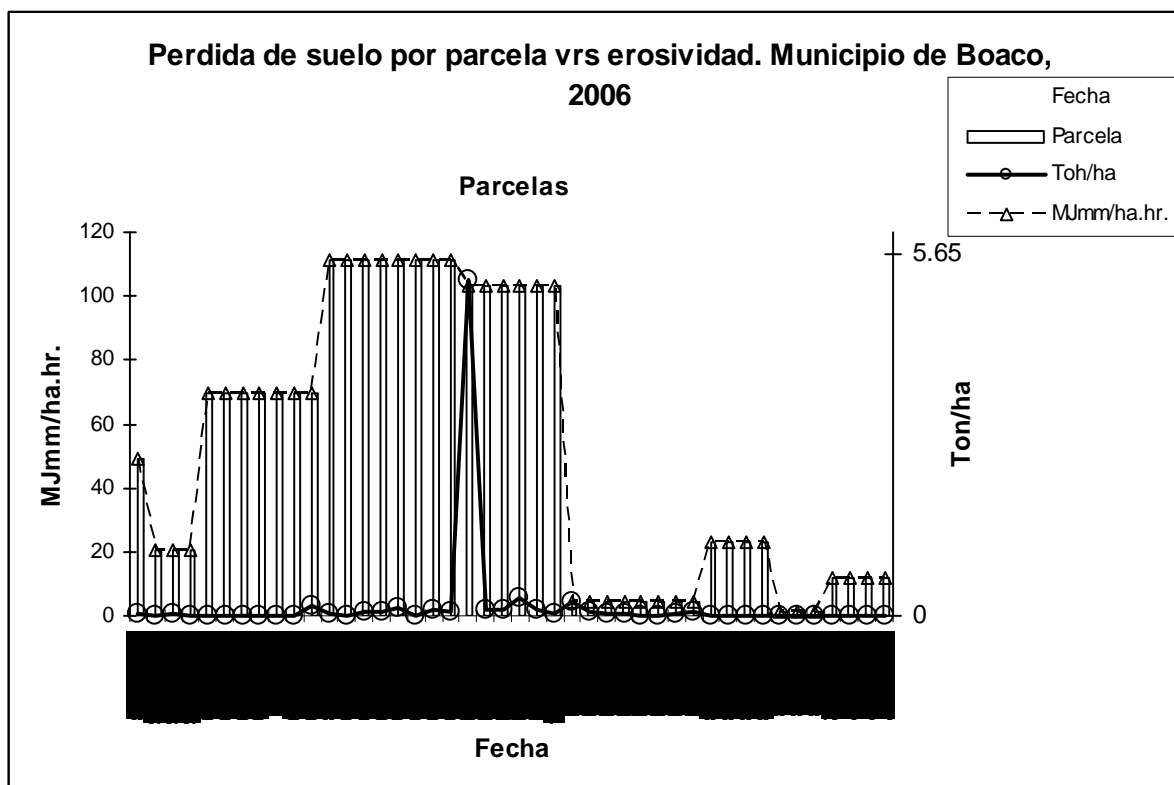
4.2.1. Factor erosividad “R”

El evaluar la degradación del suelo involucra el análisis de la erosividad de la lluvia (Hudson 1982). El factor de la erosividad de la lluvia “R” es el resultado de la precipitación pluvial, dada por la energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante treinta minutos, Wischmeier (1956), por lo tanto a mayor intensidad y duración de la lluvia, mayor pérdida de suelo.

La estación pluviográfica debidamente calibrada, registró un total de 65 eventos durante el periodo de estudio, de los cuales se registraron 11 eventos que provocaron remoción de partículas de suelos según se puede observar en la figura 1, la misma sugiere que el mes de septiembre fue el más erosivo con valores de hasta 111.51MJmm/ha.hr tan sólo el evento del día 19 de septiembre, siendo la erosividad acumulada del mes de 248.8. **(Véase anexo 8.12).**

Figura 1. Comportamiento de la erosividad vrs. Pérdida de suelo.

Boaco 2006



Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

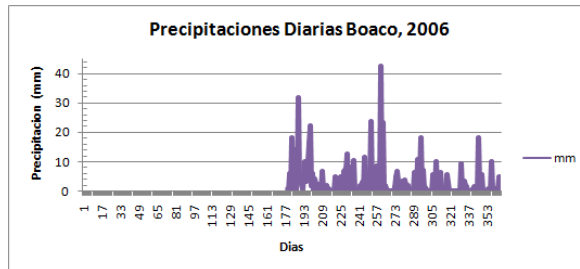
La estación pluviográfica debidamente calibrada, registró un total de 65 eventos durante el periodo de estudio, de los cuales se registraron 11 eventos que provocaron remoción de partículas de suelos según se puede observar en la gráfica 1 que mostraban pérdidas significativas para la selección y obtención de la información. Se refleja en el gráfico anterior que el mes de septiembre fue el más erosivo con un valor de 111.51MJmm/ha.hr el evento de 19 de septiembre, siendo la erosividad acumulada del mes de septiembre de 248.8 mostrándose como el mes más erosivo dentro de este estudio. **(Véase anexo 8.12).**

La gráfica también nos muestra a pesar de los pocos eventos lluviosos estudiados la relación existente entre el efecto de la fuerza que tiene la lluvia a través del impacto sobre el suelo y más aun cuando el suelo se encuentra saturado, a como se presenta en el evento dos días después del 19 de septiembre donde el evento del 21 de septiembre con un valor menor de 103.4 MJmm/ha.hr, produjo una remoción del suelo de 5.26 ton/ha en la parcela 3

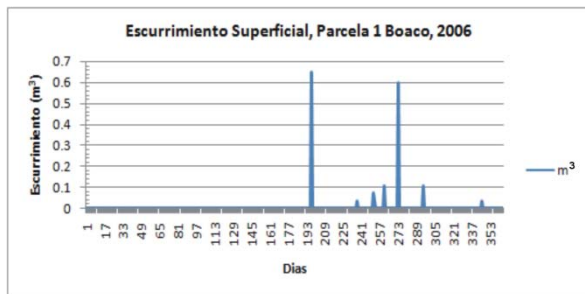
del T4 con Cubierta vegetal de frijol (**véase anexo 8.1**) de igual forma se presentaron en la otras parcelas pero en menor grado de erosión.

A mayor erosividad mostró mayor remoción del suelo en el mes de septiembre. Sin embargo en el mes de diciembre a pesar que se presenta evento erosivos, también se reconoce el efecto protector del cultivo ya que en este período la cubierta vegetal fue vital en el proceso para evitar la remoción de las partículas del suelo.

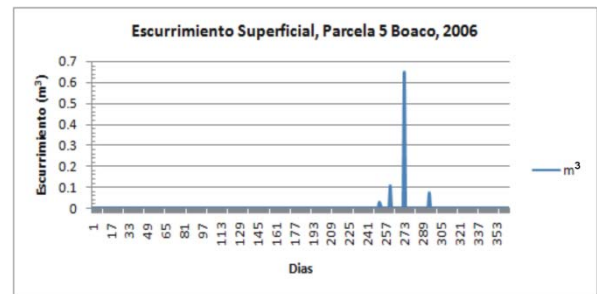
Figura 2. Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de pasto (*Panicum maximun, Jacq.*) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.



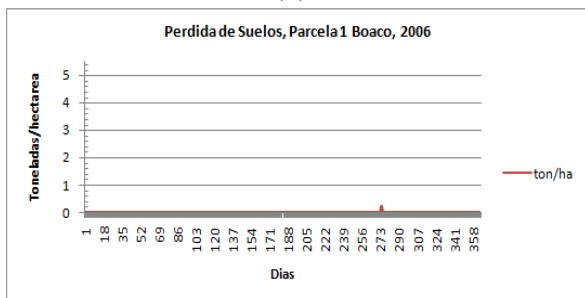
(a)



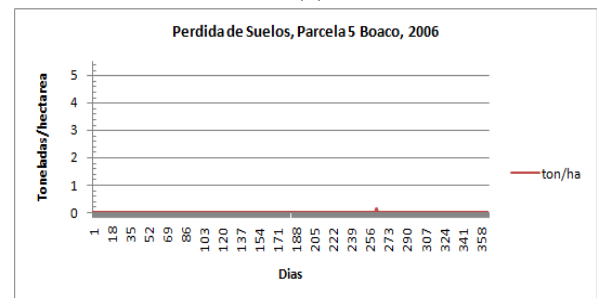
(b)



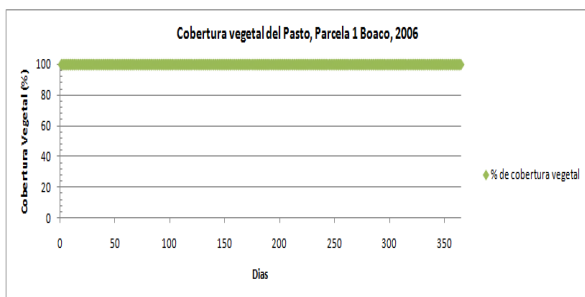
(c)



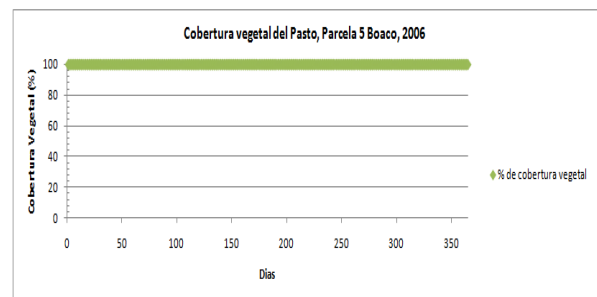
(d)



(e)



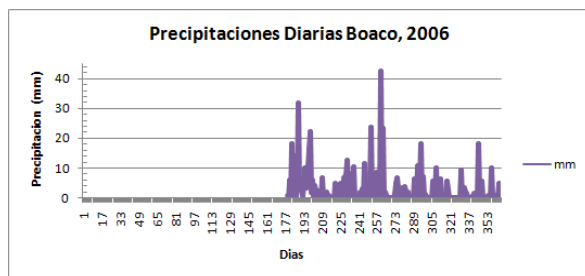
(f)



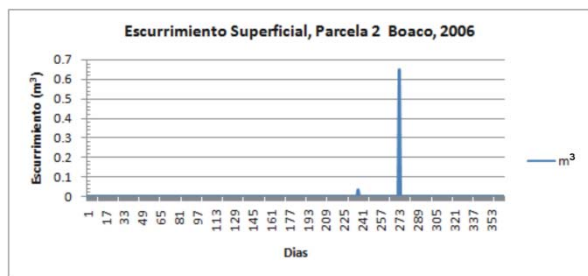
(g)

Según las figuras de las parcelas 1 y 5 correspondientes al tratamiento de pasto, los eventos lluviosos se presentaron en el periodo comprendido de julio hasta noviembre, siendo los mayores eventos en el mes de septiembre donde precipitaron arriba de los 38 mm tan sólo el día 19 de ese mes (día 262 del año, **grafica 2; (a)**), consecuentemente, estas parcelas presentaron sus mayores escurrimientos superficiales de agua durante septiembre y primeros días de octubre con valores que oscilan entre los 0.07 y 0.65 m³ (**figura 2, (b) y (c)**). Este último se presentó el día 1 de octubre y representa el dato de mayores escurrimientos superficiales para este tratamiento durante el estudio. La ocurrencia del proceso erosivo en estas parcelas fue producto de la saturación hídrica del suelo en consecuencia de los eventos lluviosos ocurridos en días anteriores a esta fecha. Lógicamente las mayores pérdidas de suelo coinciden con las fechas de ocurrencia de los eventos lluviosos sucesivos y cuyos valores van desde los 0.002 hasta 0.23 ton/ha. Este último dato coincide con el día en que se presentó la mayor pérdida de agua en estas parcelas. (**Figura 2; (b), (c) y (d), (e)**)

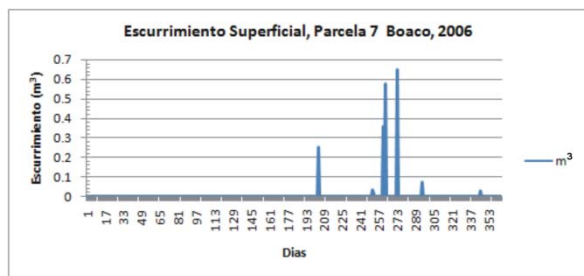
Figura 3. Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de asocio maíz-frijol (*Zea mays L.-Phaseolus Vulgaris.*) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.



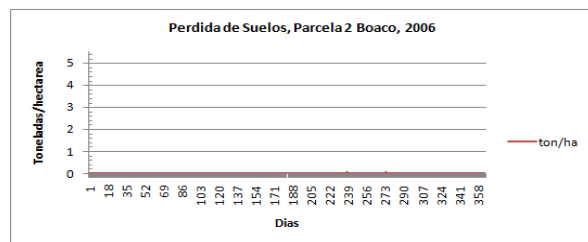
(a)



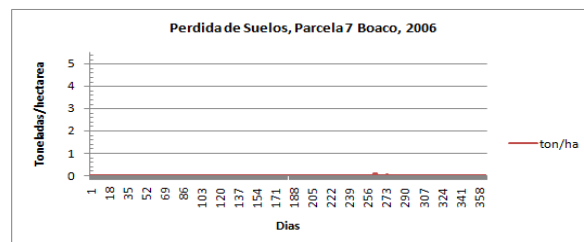
(b)



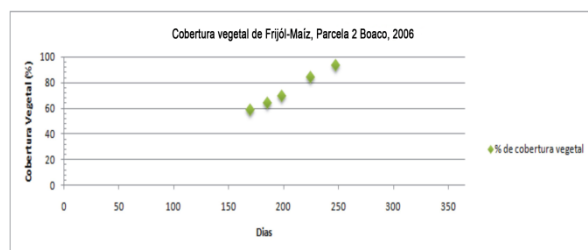
(c)



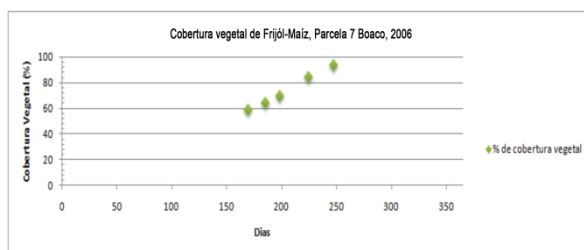
(d)



(e)



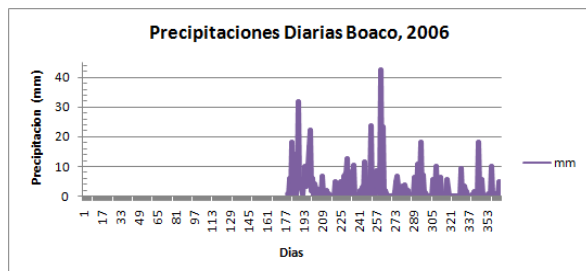
(f)



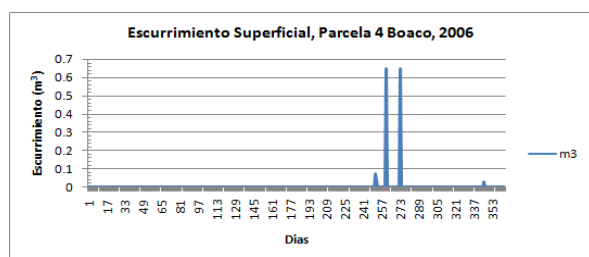
(g)

El tratamiento maíz- frijol, en las parcelas 2 y 7, presentó los mayores escurrimientos superficiales el día 01 de octubre con un valor de 0.65 m^3 , en ambas parcelas, dadas las condiciones de saturación del suelo provocada por los eventos lluviosos del mes de Septiembre, **(figura 3; (b) y (c))**. Es, justamente, aquí cuando se presentan las mayores pérdidas de suelo, aunque en menor cantidad relativa a los demás tratamientos, con valores desde 0.004 hasta 0.093 ton/ ha. Es importante hacer notar que aunque el día 01 de octubre se dan los mayores escurrimientos superficiales, las pérdidas de suelo no se comportan directamente igual. El tratamiento maíz-frijol logra regular la agresividad de la escorrentía superficial del día 01 de octubre, debido a la mayor distribución de plantas por área de la cobertura vegetal de este tratamiento que cubre hasta el 94% de dicha superficie, **(figura 3; (f) y (g))**. Al realizar una comparación de los gráficos en las parcelas 2 y 7 de este tratamiento encontramos que aunque precipitó la misma lámina de agua en la zona las parcelas difirieron en cuanto a pérdidas suelo y escurrimientos superficiales, **(figura 3; (a), (b), (c) y (d))** en este caso se debe hacer referencia a la composición textural y al perfil de la pendiente en ambas parcelas, mientras que la parcela 2 en sus últimos 10 m de longitud es relativamente plana **(ver figura 7; (c))** y su porcentaje de arena es del 26.26 %, entre tanto la parcela 7 cuenta con un 15.80 % de arena y además los últimos 10 metros de longitud de esta parcela presenta una gradiente de pendiente con un perfil convexo lo que favorece el escurrimiento superficial y la remoción de partículas de suelo. **(Ver figura 7; (d))**.

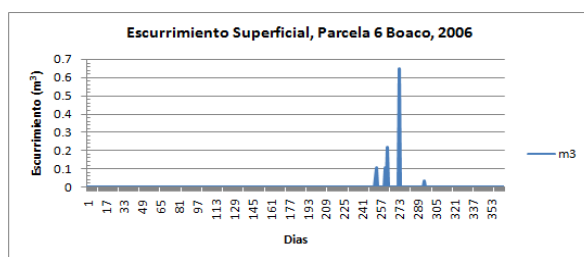
Figura 4. Precipitación, Esgurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de maíz (*Zea mays L.*) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.



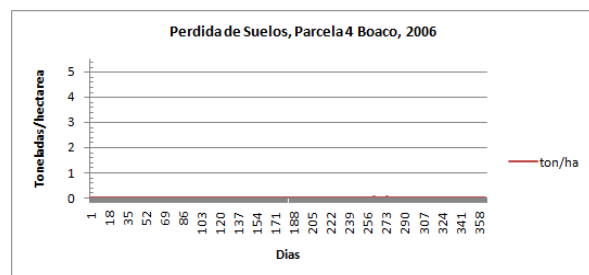
(a)



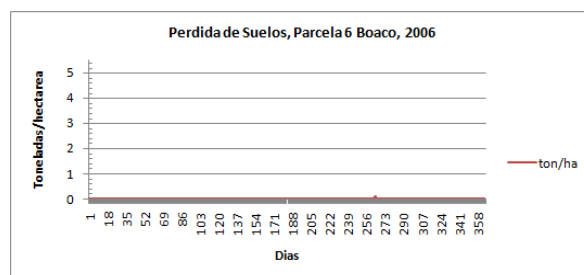
(b)



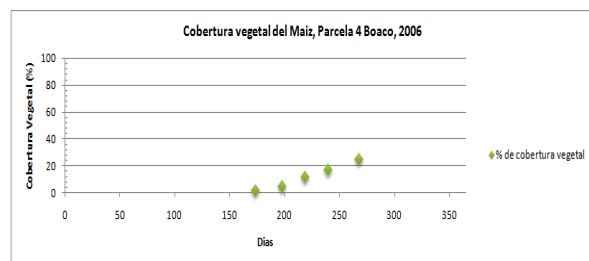
(c)



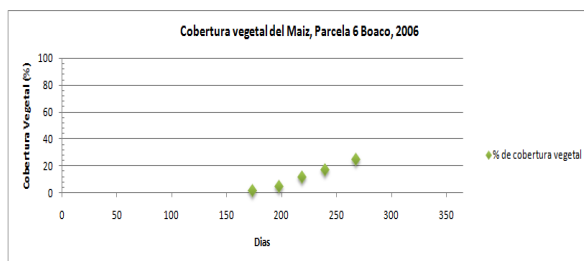
(d)



(e)



(f)

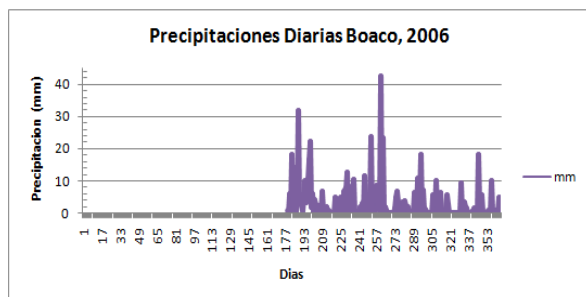


(g)

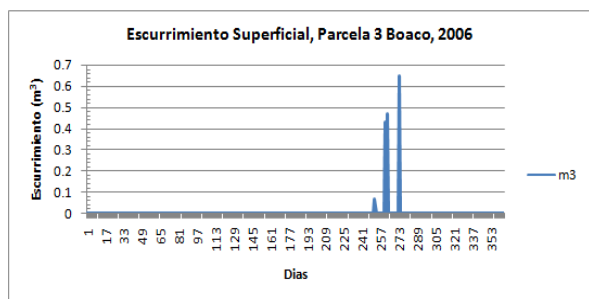
Las parcelas 4 y 6 con tratamiento de cobertura Maíz (*Zea Mays L.*), reportaron sus mayores escurrimientos superficiales los días 19 de septiembre y 01 de octubre con valores de hasta 0.65 m³ en ambas parcelas, (**figura 4; (b) y (c)**). Posteriormente, **la figura 4; (d) y (e)**, muestra valores en pérdidas de suelo desde los 0.001 hasta 0.08 ton/ha. Siendo así las mayores de 0.053 en la parcela 4 y de 0.08 ton/ha en la parcela 6. Al realizar un análisis a **la figura 4; (b), (c) y (d), (e)** vemos que los datos de pérdida de suelo corresponden con la ocurrencia de los eventos lluviosos de septiembre y octubre, los mayores del año en estudio.

La parcela 4 reportó los mayores escurrimientos superficiales durante todo el periodo de estudio (1.42 m³ en contraste con 1.12m³ de la parcela 6) a la misma vez reportó una pérdida total de suelo de 0.102 ton/ha, en comparación 0.1 ton/ha de la parcela 6. Aquí, una vez más la gradiente de la pendiente y el perfil de la misma en el terreno juega un papel fundamental tanto en la pérdida de agua como en la de suelo de ambas parcelas. La diferencia entre el gradiente de pendiente entre ambas parcelas son de 17% (40% en la parcela 4 y 23% en la parcela 6)

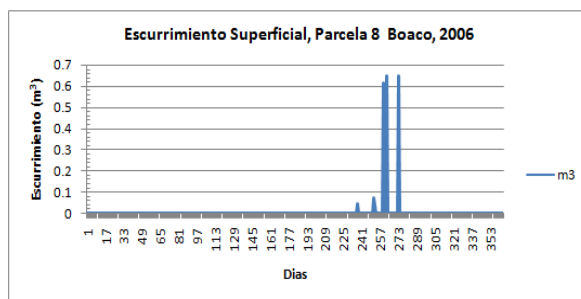
Figura 5. Precipitación, Escurrimiento, pérdida de suelo y cobertura vegetal del tratamiento de frijol (*Phaseolus Vulgaris.*) en la Finca "La Bombilla", 2006-2007.



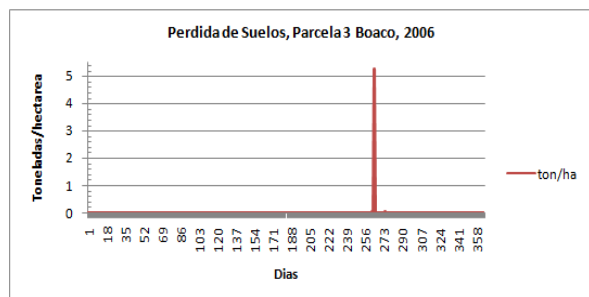
(a)



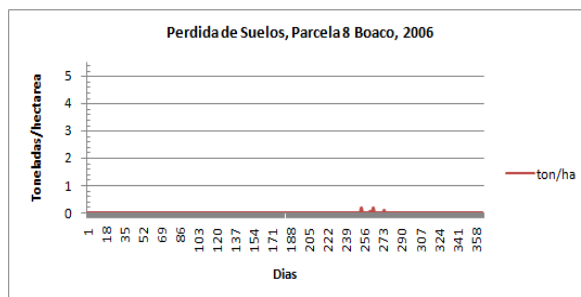
(b)



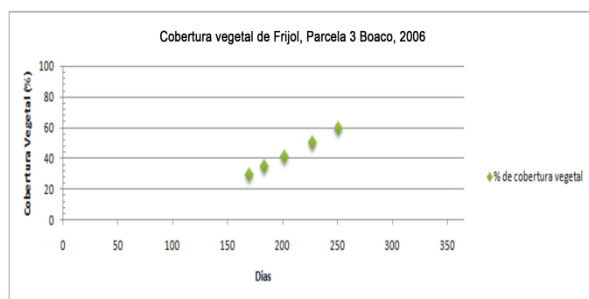
(c)



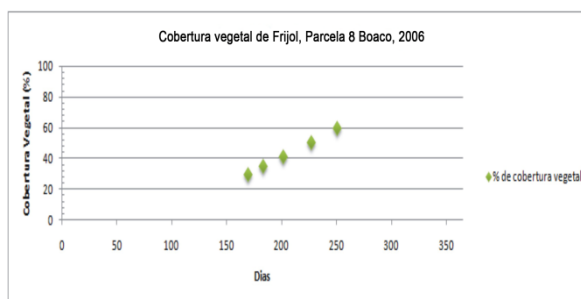
(d)



(e)



(f)



(g)

Las parcelas 3 y 8, que corresponden al tratamiento frijol y representadas anteriormente muestran un especial interés dado que son las parcelas que reportaron mayor pérdida de suelo y escurrimiento superficial, el escurrimiento superficial se presenta con valores de 0.021 hasta los 0.65 m³, (**figura 5; (b) y (c)**). Aun cuando los eventos lluviosos, importantes, en las demás parcelas se traduce en un escurrimiento superficial por debajo de los 0.6 m³ (Caso parcela 7 de maíz-frijol para el evento lluvioso del día 21 de septiembre en la figura 3; c), en la parcela 8 se presentaban escurrimientos superficiales superiores a los 0.65 m³. En consecuencia, las pérdidas de suelo fueron mayores en las parcelas de este tratamiento con valores de 5.261 ton/ha. (**Figura 5; (d)**). Según sugieren los datos tomados, las mayores pérdidas de suelo y escurrimiento superficial en este tratamiento ocurren cuando la cobertura vegetal del frijol culmina su periodo de senescencia y el suelo queda desprotegido. (**Figura 5; (d), (e) y (f), (g)**)

La **figura 5; (d)**, de la parcela 3 presenta las mayores pérdidas de suelo el día 21 de septiembre del año en estudio, lógicamente coinciden con las mayores precipitaciones pluviales en la zona (**véase anexo 8.7**). Sin embargo, el día 01 de octubre se obtienen escurrimientos superficiales con un valor de 0.65 m³, los mayores escurrimientos registrados en esta parcela, (**figura 5; (b)**), aun así las pérdidas de suelo en esta misma parcela disminuyen considerablemente a un valor de 0.033 ton/ha. En esta época ya se había cosechado el frijol (**ver figuras 5f y 5g**), e indican que los rastrojos de cosecha participan de una u otra forma en el proceso de reducción del arrastre de partículas de suelo desprendidas, dejando fluir tan sólo agua “limpia”.

El análisis de los datos de ambas parcelas muestran diferencias significativas en relación a la pendiente y perfil de las mismas (La pendiente de la parcela 3 es de 38%, mientras que en la parcela 8 es de 23%). Con relación al relieve en el perfil de la pendiente resulta ser más cóncavo en la parcela 8 y más convexo en la parcela 3 (**figura 9; (a) y (b)**). Lo que indica una justificación clara del porqué existe mayor pérdida de suelo en la parcela 3 que en la parcela 8 del tratamiento frijol.

Los tratamientos que reportaron mayores escurrimientos superficiales, según los registros, se presentaron en el tratamiento de frijol con una cantidad de 4.009 m³ le siguen, en orden

descendente, el tratamiento maíz con 2.54 m³, posteriormente el tratamiento pasto con 2,50 m³ y el tratamiento maíz-frijol con 2.02m³. Siendo éste último tratamiento quien reportó los menores escurrimientos superficiales.

Los registros obtenidos y analizados muestran que en el pasto los escurrimientos superficiales fueron menores que en el maíz, sin embargo, las pérdidas de suelo son mayores en el pasto que en el maíz, esto sucede debido al grado de pendiente mayor en tratamiento del pasto con un 42%, en contrate con la pendiente de las parcelas de maíz las cuales promedian un 32%. Es de esperarse que la inclinación del terreno crea condiciones para que la escorrentía superficial sea mayor, llevando consigo las partículas de suelo aunque el terreno cuente con una cobertura vegetal de pasto como en el caso de nuestro estudio.

El resumen meteorológico del periodo en estudio indica que el día 19 de septiembre ocurre la primera precipitación pluvial con potencial erosivo (38.4 mm) y una de las más fuertes en todo el año, (**véase anexo 8.7**). Sin embargo, todos los tratamientos reportaron pérdidas de suelo y escurrimientos superficiales en fechas posteriores a ese día. Se debe considerar que estos suelos, (Vertic Haplustolls), en ausencia de humedad se comprimen y crean suturas que permiten la percolación de los primeros eventos pluviales, posteriormente, después de sufrir un proceso de hidratación, se expanden y se “cierran” provocando escorrentías superficiales con las precipitaciones siguientes.

4.2.2. Factor erodabilidad del suelo “K”

La erodabilidad del suelo es la susceptibilidad del suelo a erosionarse. Es una propiedad del suelo que puede ser evaluada cuantitativamente como la vulnerabilidad del suelo a la erosión en circunstancias dadas. Morales; M, (1996).

La erodabilidad es una propiedad inherente del suelo refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos. Wischmeier (1976). Esta propiedad está influenciado por cinco factores que no se pueden separar como son la materia orgánica, limo, arena, permeabilidad y estructura todas ellas actúan entre sí dándole resistencia o vulnerabilidad al suelo ante el agente

desestabilizador como es el agua (lluvia). Dentro de la ecuación universal todos los factores son importantes aunque se puede obtener un valor de erosión en función de la erosividad y la erodabilidad, sin embargo es un factor general que no toma en cuenta ni la pendiente ni la longitud sobre la cual actúa el escurrimiento, la gradiente y el cultivo.

Los valores obtenidos del índice de erodabilidad (K) en los tratamientos con cobertura de pasto, asocio (frijol-maíz), maíz y frijol utilizando como forma de cálculo el nomograma y la ecuación Universal de Pérdida de Suelo oscilaron entre 0.018 y 0.025 respectivamente. (Véase cuadro 8)

Estos resultados nos permitió analizar el grado de resistencia que presenta el suelo a ser erosionado por el agua, debido al alto contenido de Materia Orgánica que muestra el suelo mejorando la estructura, la cementación de los agregado siendo más resistente a la dispersión por el impacto de la gota de lluvia, de igual forma esta resistencia se incrementa con la presencia de arcilla en el perfil el cual contribuye al incremento de esta resistencia del suelo a ser erosionado.

Cuadro 4. Índice de erodabilidad en tres formas de cálculo, 2006

Índice de erodabilidad en suelo Vertic Haplustolls, Boaco 2006.								
Tratamientos	M.O	Limo+ arena muy fina	Arena Gruesa (2 mm)	Permeabilidad	Estructura	K (nomograma) (ton ha h /ha MJ mm)	K (ec.) (ton ha h /ha MJ mm)	Pérdida de suelo
T1	3,39	36,13	2,53	muy lenta	granular grueso, medio y fino	0,019	0,025	0,502
T2	2,90	34,60	2,82	muy lenta	granular grueso, medio y fino	0,020	0,025	0,147
T3	2,01	34,00	2,56	muy lenta	granular grueso, medio y fino	0,020	0,025	0,157
T4	3,72	34,86	2,95	muy lenta	granular grueso, medio y fino	0,018	0,024	5,952

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

El suelo donde se encontraban las parcelas de frijol son las que presentan mayor materia orgánica y menor erodabilidad, con respecto a los otros tratamientos, esto nos indica que las partículas de suelo, los poros y sus agregados sean más adheridos y esto permite que el suelo sea más resistente a la erosividad, aunque el frijol es el tratamiento que mayor pérdida

de suelo obtuvo, esto pudo ser a causa de la pendiente, donde estaban ubicados estos tratamientos, la poca cobertura vegetal que este tratamiento tenía a la hora donde hubo mayor erosividad, no así la estructura del suelo

Se calculó el factor erodabilidad a través de tres diferentes metodologías como se muestra (cuadro 5). Se utilizó la ecuación de regresión 100 k el cual se hace en función de las variables representativas de sus propiedades físicas (USLE 1978). También se utilizó la ecuación descrita por Wischmeier, al igual que el despeje de la misma y a través del nomograma de Wischmeier (**ver anexo 8.6**), para comprobar la efectividad de la información, pudiendo observar que la variación de los datos no difieren casi en lo absoluto el obtener los valores ya sea por la ecuación o mediante el nomograma de Wischmeier, razón por la cual para futuros cálculos se podría utilizar ambos procedimientos para obtener el valor de erodabilidad del suelo.

Cuadro 5. Relación de los valores de erodabilidad bajo diferentes formas de cálculo en las parcelas de erosión en la finca "La Bombilla", 2006.

TRATAMIENTO	Ecuación (100 K)	Nomograma	K (E.U.P.S) Despejada
T1	0,025	0,019	0,025
T2	0,025	0,020	0,025
T3	0,025	0,020	0,025
T4	0,024	0,018	0,024

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

El **cuadro 5** nos demuestra que la obtención del índice de erodabilidad utilizando diferentes metodologías nos permite conocer de forma acertada este valor, sin mucha variación, indistintamente de la metodología utilizada para obtener tal valor en condiciones tropicales. Sin embargo, se debe de tomar en consideración que la ecuación 100 K funciona de manera más precisa cuando el contenido de materia orgánica es mayor al 4%, mientras que el nomograma se recomienda cuando tal contenido resulta ser menor al 4%. El comportamiento del cálculo de este factor queda reafirmado mediante el análisis de distribución de media por el método de t – student. (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Distribución de medias del índice de erodabilidad por el método de T-Student

Ecuación K por el método de student																		
PARCELAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	media de la muestra	media poblac. (μ)	n	X	ΣX^2	$(\Sigma X)^2$	$(\Sigma X)^2/n$	\sqrt{n}	s	t student
K(ECUACION)	0,27	0,25	0,26	0,25	0,22	0,24	0,25	0,22	0,22	0,22	24	5,46	1,26	29,78	1,24	4,90	0,04	0,13
K(NOMOGRAMA)	0,21	0,19	0,19	0,18	0,17	0,21	0,20	0,17										
K(DESPEJADA)	0,27	0,25	0,26	0,25	0,22	0,24	0,25	0,22										

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

Con el propósito de estar más seguro en cuanto al uso de las diferentes métodos de obtener el índice de erodabilidad el análisis de distribución de media de t –student, nos muestra que no hay diferencia significativa en el uso de los métodos de obtención el cual nos permitió demostrar, que cualquier método se adapta para la obtención del valor de erodabilidad.

4.2.3. Factor longitud de la pendiente “L”.

La longitud de pendiente se define como la distancia del punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante o hasta el punto en que la escorrentía entra en un canal definido. Wischmeier (1976)

El valor de la longitud de la pendiente es de 1.6, para una longitud de 50 m con un exponente de 0.6 y una pendiente de mayor del 15%, para dicho cálculo se utilizo la siguiente formula descrita.

$$L = [x/22.13]^m$$

4.2.4. El factor de gradiente de pendiente “S”.

La gradiente de la pendiente es el segmento de pendiente expresado generalmente como un porcentaje y se obtiene mediante la ecuación, $S = 0.065 + 0.045P + 0.0065P^2$ donde P es la caída vertical por 100 unidades (Kirkby y Morgan, 1984).

La gradiente de la pendiente es el segmento de pendiente expresado generalmente como un porcentaje.

El valor obtenido para la parcela 5 fue de 10.13 para una caída vertical por cien unidades a lo largo de la superficie del terreno de 39%.

El valor obtenido para la parcela 3 fue de 11.16 para una caída vertical por cien unidades a lo largo de la superficie del terreno de 38%.

El valor obtenido para la parcela 4 fue de 12.27 para una caída vertical por cien unidades a lo largo de la superficie del terreno de 40%.

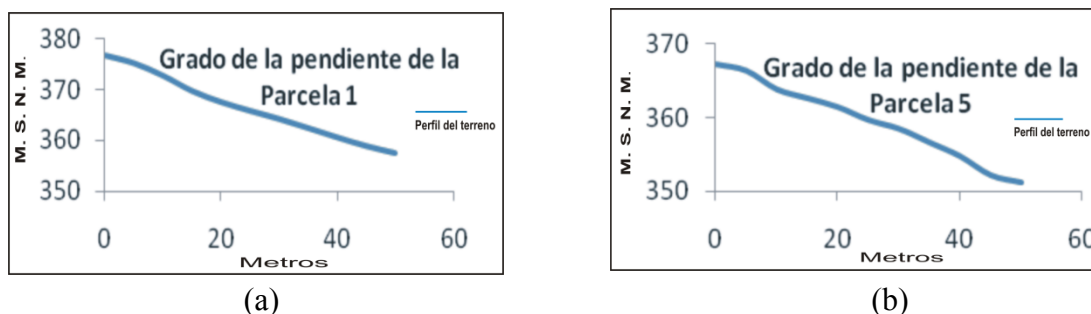
El valor obtenido para la parcela 1 y 2 fue de 14.63 para una caída vertical por cien unidades a lo largo de la superficie del terreno de 44%.

El valor obtenido para la parcela 6-7 y 8 fue de 4.54 para una caída vertical por cien unidades a lo largo de la superficie del terreno de 23%.

4.2.4.1. Comportamiento de la longitud, gradiente y perfil de pendiente en el área de estudio y su contribución en el proceso de erosión

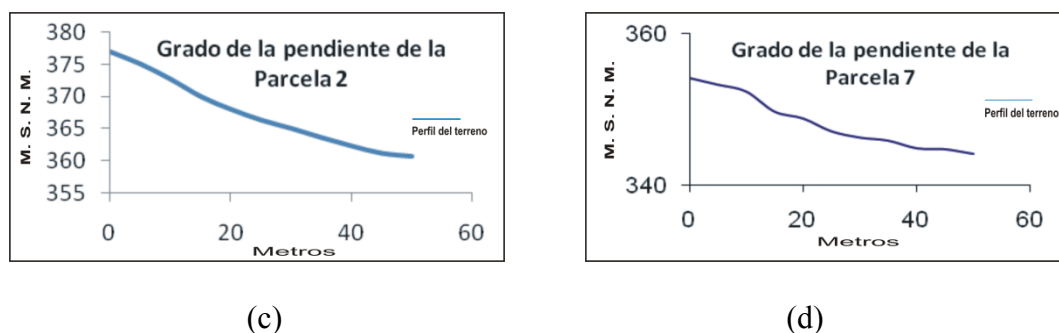
El proceso de erosión de suelo está influenciado no solo por la intensidad de la lluvia y la erosividad de los eventos, también tiene gran importancia la resistencia del suelo, la cobertura vegetal que esta sobre él, lo mismo que la longitud de la pendiente y la gradiente de la pendiente. Este último indicador tiene gran relevancia en condiciones de ladera, como la de nuestro estudio. La clasificación agroecológica de la zona en estudio se ubica como clase 5, lo que sugiere que el perfil de la pendiente influye en mayor o menor grado sobre la remoción del suelo a lo largo de la pendiente. Para el análisis de este factor se realizó un levantamiento altimétrico que permitiera visualizar el efecto del perfil de la pendiente de cada una de las parcelas, para tal caso, cada observación fue georeferenciada.

Figura 6. Gradiente del perfil de pendiente en parcelas con tratamiento de pasto. “La Bombilla, Boaco, 2006.



Las parcelas 1 y 5 del tratamiento pasto (**figura 6; a y b**) muestran que la pendiente del terreno es cóncava lo que influye positivamente en la reducción de la pérdidas de suelo en cada una de las parcelas. Por ejemplo son apreciables las ondulaciones a través del perfil en la parcela 5 desde 0 a los 20 metros se aprecia una curvatura convexa - cóncava y de los 20 a los 40 metro una curvatura convexa lo que implica deposición y remoción de partículas de suelo. Sin embargo en el último tramo, de los 40 a los 50 metros, la curvatura es cóncava disminuyendo la gradiente de pendiente a un 17 %. (**Figura 6; b**) no así en relación al perfil de la pendiente en la parcela 1 donde el último tramo de los 30 a los 50 metros la pendiente es recta con una gradiente de, 29 % Lo anterior demuestra el porqué la pérdida total de suelos por parcela en este tratamiento resultó ser de 0.23 ton/ha en la parcela 1 y de 0.15 ton/ha en la parcela 5.

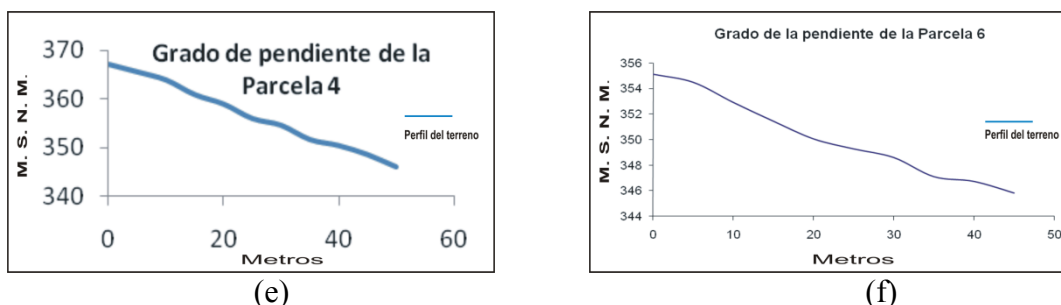
Figura 7. Gradiente del perfil de pendiente en parcelas con tratamiento de asocio. “La Bombilla, Boaco, 2006.



En el figura 7; a y b observamos la longitud y perfil de la pendiente de las parcelas 2 y 7 con cobertura de asocio maíz-frijol. Estos perfiles se caracterizan por ser diferentes al

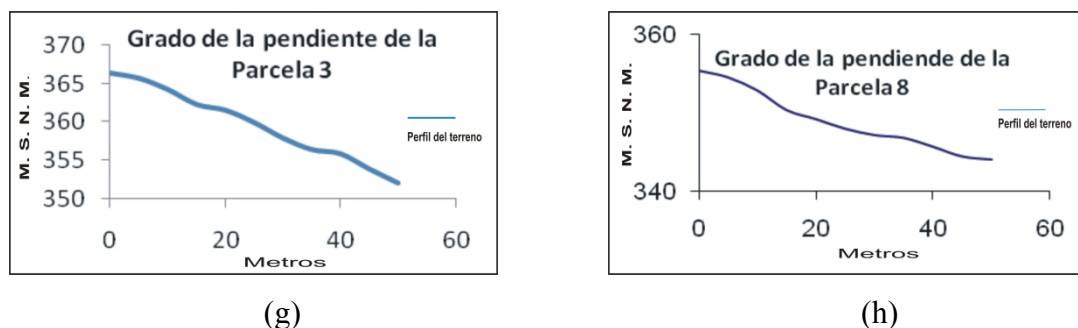
observar los últimos 10 metros en ambas parcelas notamos que la gradiente de pendiente tiende a ser menos pronunciada en la parcela 2 y más pronunciada en la parcela 7. (18 y 27% respectivamente). Esto justifica una mayor pérdida de partículas de suelo en la parcela 7 (ver figura 7c y 7d).

Figura 8. Gradiente del perfil de pendiente en parcelas con tratamiento de maíz. “La Bombilla, Boaco, 2006.



El perfil de las parcelas 4 y 6, cuyo tratamiento era maíz, muestra un comportamiento similar, en ambas repeticiones, a lo largo de todo su recorrido, dichas parcelas presentan un comportamiento cóncavo-convexo (poco más consecutivo en la parcela 4) y en los últimos 15 metros ambas tienden a aumentar la gradiente de la pendiente del terreno dando como resultado una gradiente de 31 % en la parcela 4 y de 31 % en la parcela 6 (**figura 8; a y b, respectivamente**). Las pérdidas de suelo en estas dos parcelas casi similares. (Ver figuras de pérdida de suelo, parcela 4 y 6)

Figura 9. Gradiente del perfil de pendiente en parcelas con tratamiento de frijól. “La Bombilla, Boaco, 2006.



Las figuras 9; a y b muestran el perfil del relieve en las parcelas 3 y 8, dichas parcelas corresponden al tratamiento de frijól, estas parcelas reportaron las mayores pérdidas de suelo durante el estudio (**ver cuadro 2**), las dos parcelas muestran concavidades consecutivas en el relieve a través de los primeros 50 metros de longitud. Sin embargo en los últimos 10 metros ambas parcelas presentan un comportamiento totalmente diferente, mientras que la parcela 8 tiende a reducir la gradiente de pendiente aun 14%. La parcela 3 la incrementa progresivamente hasta un 30%. La cantidad de partículas de suelo perdidas en ambas parcelas tendrán diferencias significativas y se debe acentuar más en la parcela 3.

Cuadro 7. Valores de cobertura (C)

Cultivo y practica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Pasturas	0.15

Fuente: Roose, 1977.

Normalmente se podría esperar que aumente la erosión al aumentar la inclinación y la longitud de la pendiente, como resultado del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial. (R.P.C.Morgan1997).

Este efecto de la gradiente de la pendiente al igual que la longitud de la pendiente juega un papel fundamental en el movimiento de las partículas del suelo, así como, en su deposición durante el proceso erosivo, para lograr reconocer, se compararon todas las parcelas entre sí

en base al perfil de su pendiente, curvatura para identificar la razón de las mayores pérdidas entre ambos tratamiento o bien dentro del mismo tratamiento.

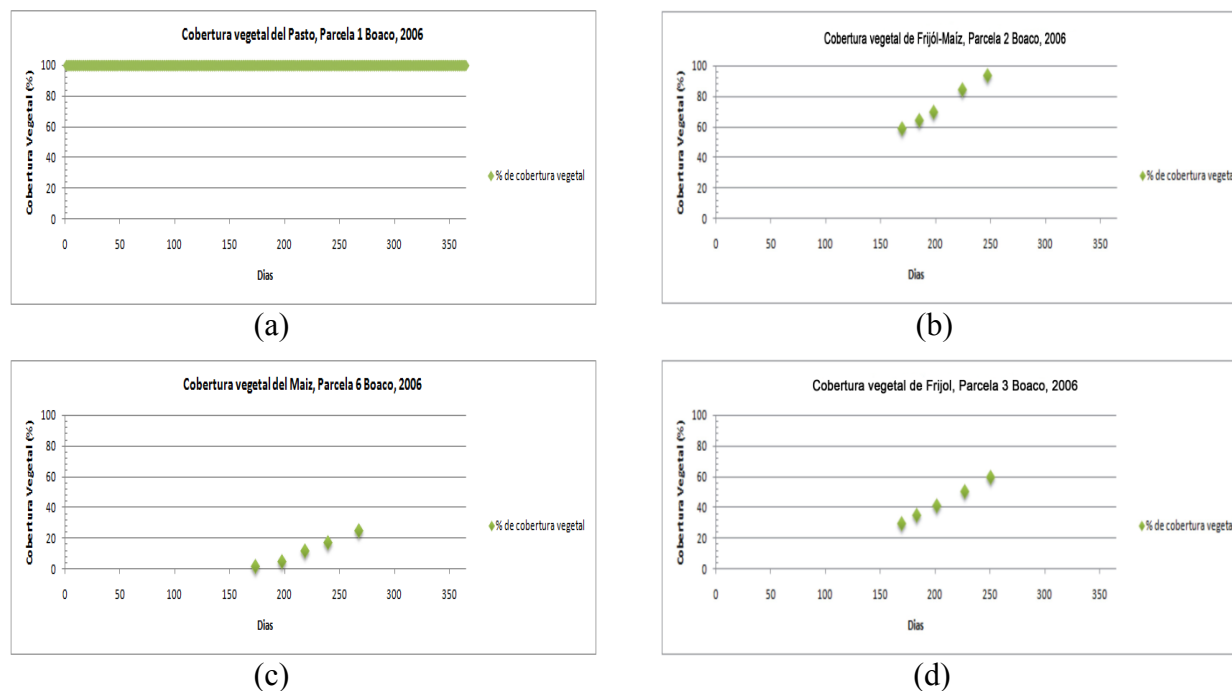
4.2.5. Factor de cobertura vegetal C

Representa la relación de pérdidas de suelo a partir de una condición específica de cultivos o cobertura con la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho de cultivo para un mismo suelo.

En el caso de cobertura del pasto citamos la tabla propuesta por Roose, 1977 ya que en nuestro país no contamos con ningún tipo de información o estudio que nos arroje un dato sobre cobertura vegetal C de la cual tomamos los datos que más se asemejan a las condiciones de nuestro estudio

En el caso de maíz y frijol se determinó la cobertura vegetal por el método de la maya de un metro cuadrado contando las plantas que emergieron y la cantidad de hojas desarrolladas.

Figura 10. Porcentaje de cobertura del maíz, frijol y asocio. La Bombilla. Boaco, 2006



Como podemos observa en las figuras el porcentaje de cobertura del maíz es del 25% en su estado de senescencia, esto a causa de que en la época evaluada las precipitaciones fueron bajas habiendo más sequia y esto provoco el mal desarrollo del cultivo por falta de agua y agentes externos (pájaros), en el caso de el porcentaje de cobertura del frijol podemos observar que en su etapa de senescencia es del 60% siendo este porcentaje regular dado a las condiciones que presentaba la zona con los escasos de agua. En el tratamiento de asocio (maíz-frijol), el porcentaje de cobertura a la hora de la senescencia era de 94%.

4.2.6. El factor del método de control de erosión P:

Es la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de una práctica específica en comparación con las pérdidas de suelo cuando se cultiva en laderas de las colinas. (Kirkby y Morgan, 1984).

Para el valor de control de erosión citamos la tabla de Kirkby y Morgan, 1984 dado que en nuestro país no contamos con ningún tipo de información o estudio que nos den datos sobre el control de erosión.

Cuadro 8. Factor de método de control de la erosión 'P'

Pendiente del terreno (%)	Cultivo en contorno	Cultivo en franja de contorno y surcos irrigados	Terraceo
1 – 2	0.60	0.30	0.12
3 – 8	0.50	0.25	0.10
9 – 12	0.60	0.30	0.12
13 – 16	0.70	0.35	0.14
17 – 20	0.80	0.40	0.16
21 – 25	0.90	0.45	0.18

Fuente: Kirkby y Morgan, 1984.

4.2.7. Pérdidas potenciales “A”

Las pérdidas potenciales son productos de dos eventos erosivos en julio, uno en agosto, tres en septiembre, dos en octubre, uno en diciembre y dos en enero. Los valores en pérdidas de suelo resultaron ser más altos por la ecuación universal de pérdida de suelo.

El siguiente cuadro nos refleja la pérdida real de suelo obtenidas de las muestras recolectadas en comparación con las pérdidas de suelo calculadas por medio de la ecuación universal de pérdida de suelo.

Cuadro 9. Comparación de la pérdida de suelo calculada por la E.U.P.S y la pérdida de suelo por medio de las muestra de agua con sedimentos. Finca “La Bombilla”. 2006.

Tratamientos	A por E.U.P.S (ton/ha)	A por agua + sedimentos (ton/ha)
P1 - (Pasto)	1.53	0.263
P5 - (Pasto)	1.80	0.147
Pérdida promedio por tratamiento	1.67	0.205
P2 - (Maíz - Frijol)	50.87	0.069
P7 - (Maíz - Frijol)	22.80	0.226
Pérdida promedio por tratamiento	36.84	0.147
P3 - (Frijol)	92.28	5.365
P8 - (Frijol)	31.77	0.539
Pérdida promedio por tratamiento	62.02	2.952
P4 - (Maíz)	148.93	0.109
P6 - (Maíz)	52.89	0.205
Pérdida promedio por tratamiento	100.91	0.157
Total de Perdida de suelo	201.44	6.923

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B, .E.

V. CONCLUSIONES

- Las pérdida de suelo calculada por la E.U.P.S y la pérdida de suelo reales muestran datos de 201.44 y de 6.923 ton/ha, respectivamente, dichos valores muestran una evidente diferencia, en tal caso los datos calculados por la ecuación universal de pérdida de suelo están siendo sobrestimados, tomando en cuenta que dicho método es meramente empírico y además está fundamentado en condiciones ambientales ajenas a las tropicales.
- El factor de cobertura vegetal “C” para los tratamientos, presentan una considerable protección al suelo a erosionarse, dando como resultados pérdidas de suelo muy bajas, tomando en cuenta los niveles de tolerancia internacional, en el tratamiento de pasto fueron de 0.205t/ha, en el caso de el tratamiento asocio (maíz-frijol) la pérdida fue de 0.147 t/ha, en el tratamiento de frijol la pérdida fue 2.952t/ha y el tratamiento de maíz la pérdida fue de 0.157t/ha. Esto se traduce en una pérdida de 0.05 cm de suelo al año.
- El factor de erodabilidad del suelo se determinó a través del nomograma de Wischmeier, la ecuación Universal de Pérdida de Suelo y la ecuación de regresión 100 k, dando como resultados valores que oscilaron entre 0.018 a 0.025 lo que indica que son moderadamente bajos por lo tanto estos suelos son muy resistentes a los procesos erosivos además de ser ricos en materia orgánica y con condiciones para crear una mejor estructuración de agregados en la superficie del suelo. Se demostró que ambos métodos pueden ser utilizados para obtener el grado de erodabilidad del suelo. Pero por su facilidad, en cuanto a manejo, el nomograma podría ser un método más rápido para utilizarse en otros estudios científicos. A pesar que el valor de Materia Orgánica no sobre pasa el 4 % quedando demostrado a su vez que valores mayores de materia orgánica no tiene ningún efecto significativo sobre el valor del índice de erodabilidad.

- La longitud, gradientes y perfil de la pendiente tiene una gran importancia en la dinámica del proceso de erosión mediante el desprendimiento, transporte, y deposición de las partículas de suelo a lo largo de la pendiente, con pérdidas de suelo relativamente por debajo del nivel de tolerancia de 12 ton/ha. a. propuesto por Wischmeier, 1978.
- Los resultados del índice de erosividad se presentan en dos momentos críticos al inicio del ciclo de primera y en la canícula en el ciclo de postrera incrementando el riesgo de erosión ya que estas coinciden con el periodo inicial del cultivo cuando el porcentaje de la cobertura vegetal es bajo.

VI. RECOMENDACIONES

- Darle seguimiento al estudio, para evaluar el efecto de los tratamientos evaluados, sobre el comportamiento de la erosión, y en especial a la erodabilidad del suelo ya que es una variable que requiere de muchos años de estudio para su determinación.
- Establecer más repeticiones y que estas guarden homogeneidad con el objetivo de obtener un modelo estadístico más confiable.
- Proponer un estudio para evaluar la variación mineralógica en las parcelas experimentales por ser éste un aspecto muy acentuado que influye en la diferencia del grado de erosión entre una parcela y otra aun cuando estas tienen el mismo tratamiento.

VII- BIBLIOGRAFIA

F.AO. (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma Italia. 70 pag.

Guido, L. J. 1997. Evaluación de los factores de la E. U. P. S en la micro cuenca “D” sur del lago de Managua. Tesis de grado Ing. Agrónomo Facultad de Agronomía. UNA, Managua. 81 pag

INETER 2005. Managua, Nicaragua. Recomendaciones Técnicas para su Elaboración. Mapas de Amenazas por Erosión Hídrica. Consultado 18 de febrero 2008. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/geofisica/desliza/amenaza.htm>

Kirkby M. J. y Morgan. R.P.C.1984; Erosión de suelos.1ra edición, impreso en México.375 pag.

Manerring, J.V. (1981). The use of soil loss tolerances as strategy for soil conservation. En Morgan (ed) soil conservation: problems and prospects. Wiley. Chich. Eng,

Morales M.J 1996. Conservación de suelos y agua Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía, escuela de producción vegetal trabajo especial tomo 1; 157 pag.

Morgan R.P.C. 1997; Erosión y Conservación de Suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.Barcelona.Mexico.343 pag.

Mendoza C. Reynaldo B. 1997. Evaluación de barreras vivas de Gliricidia sepium (jacq) sobre pérdida de suelo y agua y rendimiento de maíz-frijol en la cuenca el pital. Managua, Nicaragua.

Ramos T, C, L. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de Susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río cañete y determinación del mapa de erosión. (en línea). Consultado 11 de enero 2008. Disponible en <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~cramost/MODELO%20DE%20EROSION%20HIDRICA%20-%20SIG.pdf>

Ramírez P, V, C.2005. Estudio de Impacto Ambiental y Social telecomunicaciones (en línea).Consultado el 28 de septiembre.2007.Disponible en <http://www.wds.worldbank.org/servlet/WDSCContentServer/WDSP/IB/2005/12/01/00001200920051201102047/Rendered/PDF/E12540v10NI0rev0LCR1EA1P0899891V1.pdf>

Schertz, D.L. (1983). The basis for soil loss tolerance. J. Soil water cons: 38 (1)

Toruño, Pedro José. *Enero-Marzo 2008*. Experiencias nacionales de Nicaragua en el manejo de erosión hídrica en laderas mediante sistemas agroforestales Tecnología en Marcha, Vol. 21-1, P. 56-63. Consultado 18 de febrero 2008. Disponible en http://www.itcr.ac.cr/publicaciones/tecnologia_marcha/pdf/tecnologia_marcha_21-1/56-63.pdf

Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook 537. U. S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 58

Web visitadas

http://www.alcaldiaboaco.gob.ni/info_general.shatml

VIII- ANEXOS

Anexo 8.1. Perdas de suelo reales en cada uno de los tratamientos por evento lluvioso en el periodo de julio 2006 hasta enero 2007. Finca "La Bombilla". Boaco.

Fecha	R	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	T. Totales
18/07/2006	48.86	0.016								0.016
24/07/2006	103.4							0.016		0.016
26/08/2006	20.8	0.003	0.018						0.002	0.023
10/09/2006	69.89	0.002		0.012	0.009	0.003		0.006	0.165	0.197
11/09/2006	69.89						0.004			0.004
18/09/2006	111.51								0.020	0.020
19/09/2006	111.51	0.003		0.059	0.053	0.124	0.006	0.093	0.061	0.399
21/09/2006	103.4			5.261			0.08	0.081	0.381	5.803
01/10/2006	4.3	0.229	0.051		0.026		0.01	0.020	0.062	0.398
23/10/2006	23.31	0.005				0.007		0.009		0.021
13/12/2006	1.55	0.004			0.014			0.008		0.026
Totales		0.262	0.069	5.332	0.102	0.134	0.1	0.233	0.691	6.923 t/ha/año

Fuente: Hernández. L., E. Martínez. B., E.

P1: pasto

P6: maiz

P2: maíz-frijol

P7: maíz-frijol

P3: frijól

P8: frijól

P4: maiz

R: Erosividad de la lluvia. (MJmm/ha/h).

P5: pasto

T. Total: Tratamiento total.

**Anexo 8.2. Precipitación registrada por la estación meteorológica establecida en el
área de estudio. Boaco. La Bombilla.**

Meses	mm/h
junio	6.8
julio	158.31
agosto	69.1
septiembre	135.5
octubre	79.5
noviembre	48.5
diciembre	50.4
enero	22.1
Total mm/h	570.21

Fuente: Hernández. L

**Anexo 8.3. Valores de la ecuación universal de pérdida de suelo por cada tratamiento.
Boaco. La Bombilla.**

IDENTIFICACION	Valor de k	Valor de R	Valor de L	Valor de S	Valor de C	Valor de P	Valor de A
PI(Pasto)	0.27	38.75	1.6	10.13	0.01	0.9	1.53
PII(Maíz-frijol)	0.25	38.75	1.6	10.13	0.36	0.9	50.87
PIII(Frijol)	0.26	38.75	1.6	11.16	0.57	0.9	92.28
PIV(Maíz)	0.25	38.75	1.6	12.27	0.87	0.9	148.93
PV(Pasto)	0.22	38.75	1.6	14.63	0.01	0.9	1.80
PVI(Maíz)	0.24	38.75	1.6	4.54	0.87	0.9	52.89
PVII(Maíz-frijol)	0.25	38.75	1.6	4.54	0.36	0.9	22.80
PVIII(Frijol)	0.22	38.75	1.6	4.54	0.57	0.9	31.77
Total de perdida de suelo t/ha/año							201.44

Fuente: Hernández. L

Anexo 8.4. Resultados de los análisis físico realizados por parcelas. Boaco. La Bombilla.

IDENTIFICACION		% ARENA	% LIMO	%ARCILLA	CLASE TEXTURAL
P1	PA	34.69	31.25	34.06	Franco Arcilloso
	PM	13.27	32.49	54.24	Arcilla
	PB	15.46	35.66	48.88	Arcilla
% Total		21.14	33.13	45.72	
P2	PA	43.97	26.73	29.3	Franco Arcilloso
	PM	18.53	31.34	50.13	Arcilla
	PB	16.27	35.14	48.59	Arcilla
% Total		26.26	31.07	42.67	
P3	PA	26.70	31.43	41.86	Arcilla
	PM	14.02	30.79	55.18	Arcilla
	PB	12.30	35.25	52.45	Arcilla
% Total		17.67	32.49	49.83	
P4	PA	41.20	29.44	29.36	Franco Arcilloso
	PM	27.80	33.48	38.72	Franco Arcilloso
	PB	15.89	33.97	50.14	Arcilla
% Total		28.30	32.30	39.41	
P5	PA	15.02	28.34	56.64	Arcilla
	PM	24.82	28.31	46.87	Arcilla
	PB	16.28	28.24	55.49	Arcilla
% Total		18.71	28.30	53.00	
P6	PA	12.18	25.23	62.29	Arcilla
	PM	12.46	25.46	62.08	Arcilla
	PB	10.66	28.68	60.67	Arcilla
% Total		11.77	26.46	61.68	
P7	PA	12.81	27.66	59.52	Arcilla
	PM	17.72	30.98	51.30	Arcilla
	PB	16.88	31.35	51.77	Arcilla
% Total		15.80	30.00	54.20	
P8	PA	32.56	27.47	40	Franco Arcilloso
	PM	19.47	29.89	50.65	Arcilla
	PB	14.69	27.64	57.67	Arcilla
% Total		22.24	28.33	49.44	

Anexo 8.5. Resultados de los análisis químicos realizados por parcelas. Boaco. La Bombilla.

IDENTIFICACION		DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	DENSIDAD REAL (gr/cm ³)	% HUMEDAD	% MATERIA ORGANICA	% NITROGENO
P1	PA	1.23	2.39	11.69	3.33	0.167
	PM	1.45	2.57	7.67	2.54	0.13
	PB	1.40	2.54	7.50	2.15	0.11
% Total		1.36	2.50	8.95	2.68	0.133
P2	PA	1.29	2.43	9.65	3.76	0.19
	PM	1.40	2.56	9.18	2.67	0.13
	PB	1.25	2.24	13.40	3.61	0.18
% Total		1.31	2.41	10.74	3.35	0.17
P3	PA	1.09	2.60	10.76	3.69	0.19
	PM	1.14	2.40	10.67	3.15	0.16
	PB	1.32	2.37	8.04	3.52	0.18
% Total		1.18	2.46	9.83	3.45	0.17
P4	PA	1.13	2.32	9.95	4.49	0.23
	PM	1.42	2.55	9.96	3.97	0.2
	PB	1.34	2.63	7.55	2.96	0.15
% Total		1.30	2.50	9.15	3.81	0.19
P5	PA	1.26	2.42	13.90	4.8	0.24
	PM	1.26	2.48	10.66	4.60	0.23
	PB	1.35	2.61	5.84	2.91	0.15
% Total		1.29	2.50	10.13	4.10	0.20
P6	PA	1.20	2.32	27.41	0.32	0.02
	PM	1.20	2.45	28.28	0.18	0.01
	PB	1.21	2.20	29.15	0.12	0.01
% Total		1.21	2.32	28.28	0.21	0.01
P7	PA	1.31	2.22	22.44	4.73	0.27
	PM	1.19	2.34	26.17	2.09	0.28
	PB	1.23	2.32	24.85	0.50	0.03
% Total		1.24	2.29	24.49	2.44	0.19
P8	PA	1.25	2.57	29.72	3.39	0.17
	PM	1.28	2.49	24.96	4.21	0.21
	PB	1.30	2.30	24.46	4.15	0.21
% Total		1.28	2.45	26.38	3.92	0.20

Anexo 8.6. Nomograma de Erodabilidad del suelo

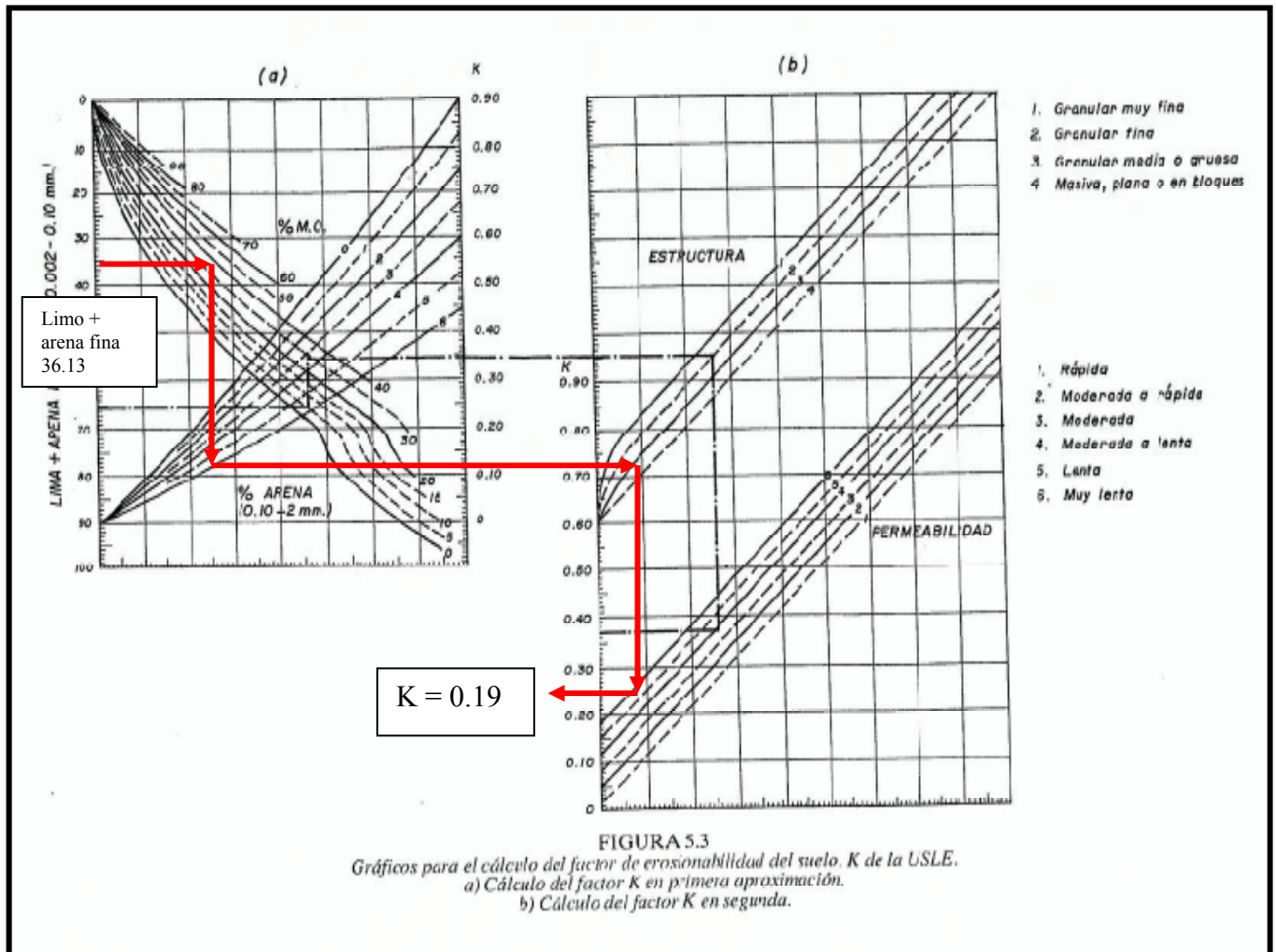


FIGURA 5.3
 Gráficos para el cálculo del factor de erosionabilidad del suelo, K de la USLE.
 a) Cálculo del factor K en primera aproximación.
 b) Cálculo del factor K en segunda.

USLE .Wischmeier y Smith (1978).Manual de conservación de suelo 534 departamento de agricultura. RUSLE (Lane, 1988)

Foto 1. Tanques recolectores de sedimentos. La Bombilla. 2006



Anexo 8.7 - RESUMEN METEOROLOGICO DIARIO**INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES****DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA****Estación: - BOACO /
BOACO****Latitud: 12° 28' 12" N****Año: 2006****Elevación: 400 msnm****Código: 69 084****Longitud: 85° 39' 18" W****Parámetro: precipitación
(mm)****Tipo: HMO**

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
1	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	1.9	81.4	5.9	101.6
2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	1.3	0.0	6.2	0.0	3.7	18.6
3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	0.0	5.5	8.6	0.0	1.5	39.5
4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	1.6	0.0	3.5	8.9	0.0	36.1
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	14.1	0.0	1.1	0.0	16.8
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.9	7.7	0.0	0.0	1.6	10.2	0.0	36.4
7	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	28.6	1.4	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	40.4
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	5.9	0.0	2.9	3.6	3.4	0.0	29.7
9	7.0	2.3	0.0	0.0	4.5	20.2	34.7	0.0	9.1	0.0	0.0	2.9	80.7
10	1.2	1.7	0.0	0.0	0.9	28.4	3.4	7.3	13.4	8.5	7.5	0.0	72.3
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	4.2	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	7.9
12	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	9.7	10.7	7.9	0.0	4.4	0.0	0.0	35.5
13	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	3.4	1.4	0.0	0.0	1.9	8.2	17.3
14	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	6.9	6.2	1.9	3.2	0.0	0.0	4.2	29.6
15	0.0	1.5	2.5	0.0	0.0	11.3	8.1	3.6	9.9	0.0	0.0	1.7	38.6
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	17.4	2.2	4.0	0.0	7.9	3.8	39.2
17	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	0.0	11.2	0.0	1.5	4.9	0.0	1.0	32.8
18	8.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	6.8	1.1	3.2	0.0	0.0	27.1
19	1.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	19.1	38.4	0.0	0.0	0.0	88.7
20	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	1.7	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	31.4
21	9.9	0.0	0.0	0.0	7.1	3.9	3.0	0.0	10.5	12.0	0.0	0.0	46.4
22	0.9	0.7	0.0	0.0	2.2	8.1	0.0	1.6	20.0	0.0	0.0	3.5	37.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	2.0	0.0	2.2	5.5	0.0	0.0	11.1
24	0.9	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.6	9.7	0.0	21.0	0.0	0.0	34.5
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	1.7	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	13.8	0.0	7.3	0.0	0.0	23.6
27	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	9.3	2.9	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	19.9
28	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	1.5	28.5
29	25.3	-	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	35.3
30	0.6	-	0.0	0.0	0.0	0.7	15.0	3.7	0.0	0.0	2.3	2.9	25.2
31	2.2	-	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	-	6.2	8.4
Suma	76.4	11.7	16.2	0.0	38.6	217.4	217.2	97.2	143.0	96.1	137.4	49.1	1100.3
Promedio													91.69

Anexo 8.8-INFORMACION GENERAL. BOACO

Fecha de la descripción:	18-01-07	Material Madre:	Toba
Localización del perfil:	Barrio la Bombilla.	Fisiografía:	Colina
Municipio:	Boaco	Elevación:	363.63 m.s.n.m
Departamento:	Boaco	Relieve:	colina
Clasificación Taxonómica:	Mollico.	Pendiente (%):	39%
Uso actual:	Maleza.	Erosión:	laminar, surco
Zona climática:	Trópico de sabana	Permeabilidad:	Moderada

Cuadro 10. Propiedades físicas y químicas de cada horizonte diagnostico. Boaco 2006.

Descrip.		Color	Rutina						Bases(me/100g suelo)						Micros(ppm)				Textura %		
Prof. cm.	H	Hum.	pH (H2O)	% M.O	% N	P (ppm)	CE (□Scm)	K-disp	K	Ca	Mg	Na	CIC	% S.B	Fe	Cu	Zn	Mn	A	L	Arc
0-13	A	5YR3/1	6.3	1.93		0.47			0.37	44.4	9.94	0.14		71.98	16.4	2.8	0.4	14.8	14.98	32.08	52.93
13-43	B ₁₁	5YR3/2	6.2	0.81		1.42			0.27	47.5	9.87	0.14		66.5	7	2.2	0.19	5	20.53	33.03	46.43
43-73	B ₂	5YR3/3	6.5	0.41					0.25	48.1	9.34	0.16		70.2	5.5	2.4	0.23	1.4	16.47	37.08	46.32
73-113	B ₃ /C ₁	7.5YR4/3	6.6	0.3					0.27	47.1	9.01	0.15		67.13	5.2	2.3	0.18	1.9	15.46	31.87	52.65
113 a +	C ₂	10YR5/4	6.8	0.05					0.27	46.1	8.52	0.17		68.99	0.65	1.3	0.34	0.8	19.48	35.61	44.89
		10YR6/4	7.1						0.26	43.4	7.37	0.18		66.76	1.56	1	0.3	2.5	34.86	38.78	26.33

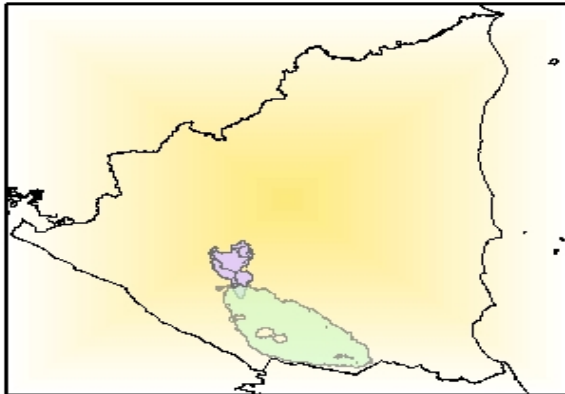
Fuente: Hernández. L.

Cuadro 11. Nomenclaturas y definiciones.

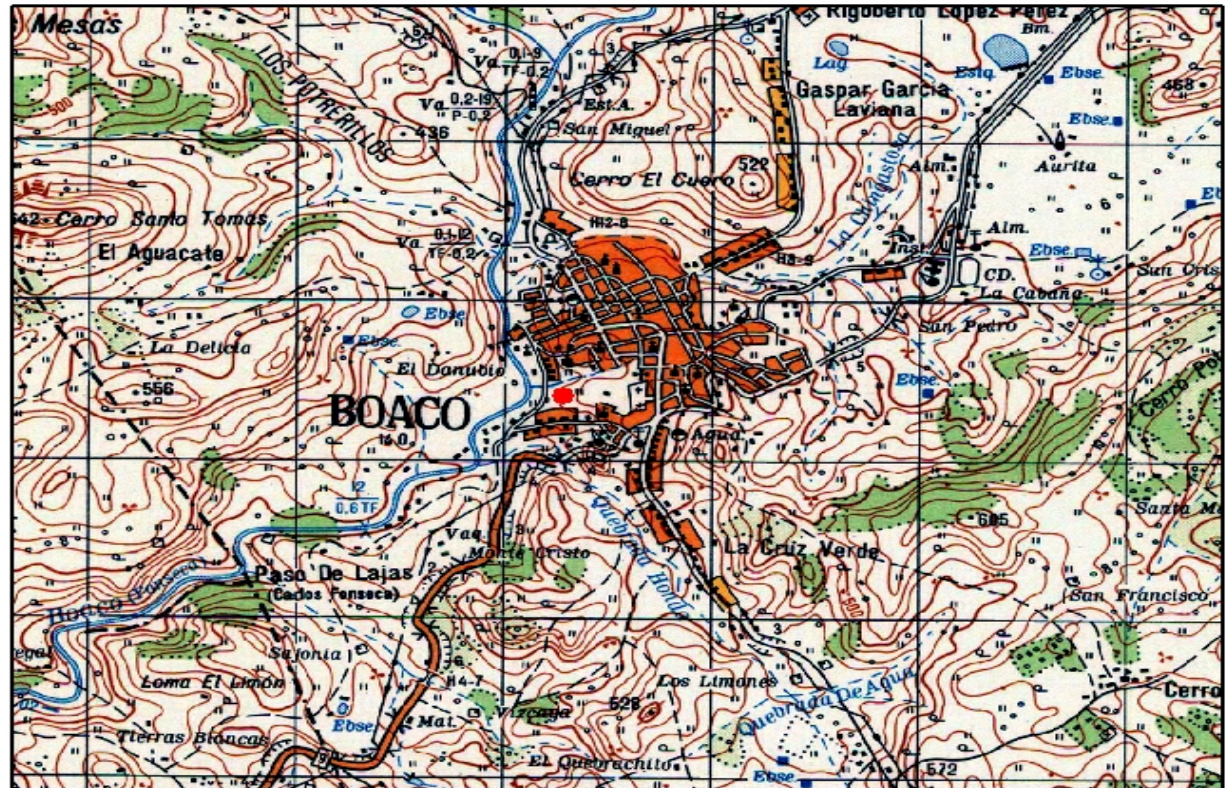
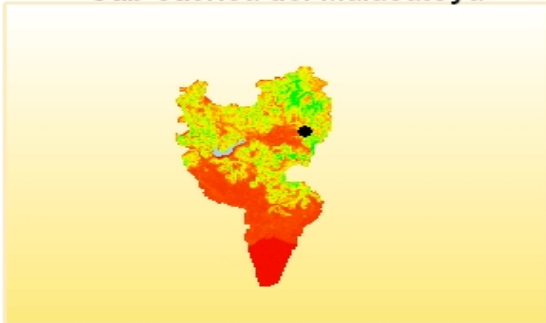
Nomenclatura	Nombre	Nomenclatura	Nombre
Prof.	Profundidad de cada horizonte en cm	Ca	Calcio
Arc	Arcilla	Mg	Magnesio
H	Horizontes	Na	Sodio
Hum.	En húmedo	%S.B	Porcentaje de saturación de bases
		Fe	Hierro
Ph	potencial del hidrogeno	Cu	Cobre
%M.O	Porcentaje de materia orgánica	Zn	Cinc
		Mn	Manganeso
%N	Porcentaje de nitrógeno	A	Arena
P	Fósforo disponible en partes por millón	L	Limo
CE	Conductividad eléctrica en Siemens/cm		
K-disp.	Potasio disponible		
K	Potasio		

Anexo 8.9. Mapa Ubicación de Parcelas de Erosión

Nicaragua, sub cuenca del Malacatoya



Sub cuenca del Malacatoya



- Parcelas de Erosión
- Municipio de Boaco

Area de investigación

Coordenadas
N 12° 27' 57.3"
W 85° 39' 47.5"

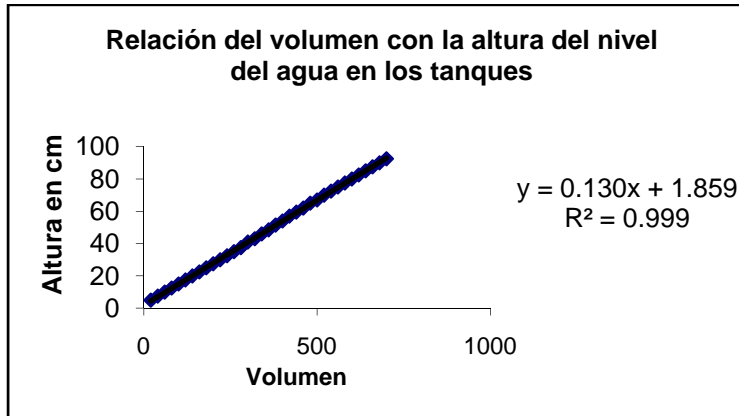
**Municipio del Departamento de Boaco,
Ubicación de Parcelas de Erosión**

ArcGIS 9.0 Development Team
Julio 13 del 2008

Creado en ArcGIS 9.0 utilizando ArcMap
Creado en ArcGIS 9.0 using ArcMap



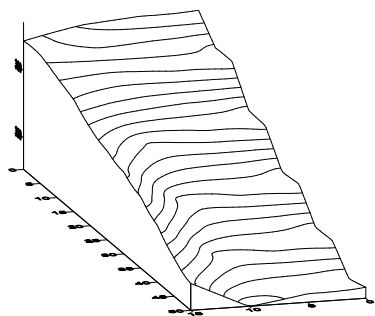
Anexo 8.10. Calibración de tanques



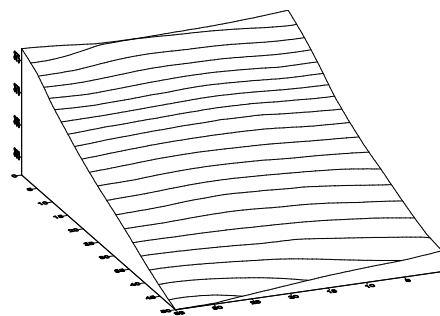
CALIBRACION DEL BARRIL	
Litros	cm
20	5
40	7.5
60	10
80	12.5
100	15
120	17.5
140	20
160	22.5
180	25
200	27.5
220	30
240	32.5
260	35
280	37.5
300	41
320	43
340	46
360	48.5
380	51.5
400	54
420	57
440	59.5
460	62
480	65
500	67
520	70
540	72.5
560	75
580	77.5
600	80
620	82.5
640	85
660	87.5
680	90
700	92.5

Anexo 8.11. Relieve de las de las Parcelas. Boaco. 'La Bombilla', 2006

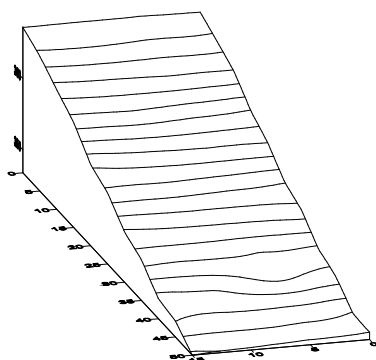
a) Relieve de tratamiento de pasto.



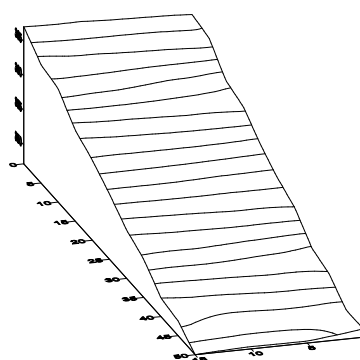
b) Relieve de tratamiento de asocio



c) Relieve de tratamiento de maíz.



d) Relieve de tratamiento de frijol.



	Fecha	Erosividad
1	30/06/06	5,11
2	02/07/06	83,78
3	04/07/06	3,66
4	05/07/06	17,94
5	06/07/06	0,48
6	07/07/06	1,10
7	08/07/06	187,86
8	10/07/06	3,64
9	11/07/06	4,11
10	13/07/06	17,93
11	14/07/06	4,50
12	15/07/06	29,18
13	16/07/06	26,51
14	17/07/06	11,41
15	18/07/06	48,86
16	19/07/06	1,55
17	20/07/06	9,81
18	26/07/06	1,21
19	09/08/06	9,16
20	11/08/06	3,67
21	12/08/06	1,63
22	14/08/06	6,03
23	17/08/06	10,94
24	18/08/06	13,06
25	19/08/06	28,05
26	23/08/06	13,15
27	25/08/09	20,80
28	31/08/06	0,95
29	02/09/06	1,86
30	04/09/06	28,97
31	06/09/06	6,84
32	08/09/06	5,22
33	09/09/06	69,89
34	14/09/06	12,59
35	15/09/06	7,45
36	16/09/06	1,50
37	18/09/06	111,51
38	20/09/06	103,40
39	22/09/06	1,85
40	1/10/06	4,30
41	02/10/06	8,57
42	09/10/06	4,84
43	10/10/06	2,98
44	17/10/06	9,29
45	19/10/06	1,33
46	20/10/06	33,74
47	22/10/06	10,73
48	23/10/06	23,31
49	25/10/06	11,41
50	28/10/06	0,32
51	02/11/06	7,07
52	03/11/06	1,85
53	05/11/06	10,67
54	09/11/06	11,22
55	15/11/06	9,78
56	27/11/06	23,09
57	29/11/06	1,35
58	01/12/06	1,29
59	02/12/06	1,14
60	08/12/06	1,37
61	12/12/06	17,82
62	13/12/06	2,48
63	02/01/07	11,63
64	07/01/06	1,55
65	13/01/07	0,93

Anexo 8.12. Cálculos de erosividad por evento lluvioso. Boaco. 'La Bombilla'.

Anexo 8.13. Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo.

Intensidad de Amenaza	Pérdida de suelo (t/ha/año)	Pérdida de suelo (en mm)
Baja	5 - 12	0.4 - 2
Media	12 - 25	2 - 5
Alta	> 25	> 5

Adaptados de Wischmeier y Smith, 1978; Roffe, Ligtenberg, et, al 2004.FAO 1985.

Anexo 8.14. Escurrimiento superficial y erosividad. Boaco. La Bombilla, 2006.

Eventos	Pasto m3/ha	Maíz-Frijol m3/ha	Frijol m3/ha	Maíz m3/ha	EROSIVIDAD
18/07/2006	4,3	0	0	0	48,86
24/07/2006	0	1,7	0	0	13,15
26/08/2006	0,2	0,2	0,4	0	20,80
10/09/2006	0,7	0,2	0,9	1,2	69,89
19/09/2006	1,4	0,5	5,1	5,1	111,51
21/09/2006	0	4,3	8,7	4,3	103,40
01/10/2006	8,2	8,7	8,7	8,7	4,30
23/10/2006	1,2	0,5	0	0,2	23,31
13/12/2006	0,2	0,2	0	0,2	17,82
02/01/2007	0	0,1	0	0	11,63
07/01/2007	0,1	0,2	0,1	0,1	1,55
Total	16,5	16,6	23,9	19,8	426,23

Anexo 8.15. Pérdidas de suelo utilizando la EUPS. Boaco. La Bombilla, 2006

Eventos	P1. Pasto	P2. Maíz-frijol	P3.Frijol	P4.Maiz	P5.Pasto	P6.Maiz	P7. Maíz-frijol	P8. Frijol
18/07/2006	1.92	64.15	116.37	187.77	2.26	66.7	28.75	40.06
24/07/2006	0.52	17.26	31.32	50.53	0.61	17.95	7.74	10.78
26/08/2006	0.82	27.31	49.54	79.93	0.96	28.39	12.24	17.05
10/09/2006	2.75	91.75	166.45	268.58	3.24	95.4	41.12	57.3
19/09/2006	4.39	146.4	265.58	428.53	5.17	152.22	65.61	91.42
21/09/2006	4.07	135.75	246.26	397.36	4.79	141.15	60.84	84.77
01/10/2006	0.17	5.65	10.24	16.52	0.2	5.87	2.53	3.53
23/10/2006	0.92	30.6	55.52	89.58	1.08	31.82	13.72	19.11
13/12/2006	0.7	23.39	42.44	68.48	0.83	24.33	10.49	14.61
02/01/2007	0.46	15.27	27.7	44.69	0.54	15.88	6.84	9.53
07/01/2007	0.06	2.03	3.69	5.96	0.07	2.12	0.91	1.27
Promedio	1.53	50.87	92.28	148.93	1.80	52.89	22.80	31.77
Total pérdida de suelo T/ha	16.78	559.56	1015.11	1637.93	19.75	581.83	250.79	349.43

Anexo 8.16. Tipo de Suelo. Boaco, “La Bombilla”, 2006.

La descripción del perfil se realizó en la “Finca la Bombilla”, municipio de Boaco, departamento de Boaco, localizado en las coordenadas N 12° 28 57.3” de latitud y W 85° 39 47.5” de longitud.

8.16.1 Descripción del perfil de suelo

I. Información acerca del sitio de la muestra

- **Numero de perfil:** 1
- **Clasificación taxonómica:** Vertic Haplustolls (USDA,2006)
- **Fecha de observación:** 18 Febrero 2007
- **Autores:** Ignacio Rodríguez, Gerardo Murillo, Adriana Sánchez
- **Ubicación:** Barrio La Bombilla, Boaco.
- **Altitud:** 374 m.s.n.m
- **Forma del terreno:**
 1. **Posición fisiográfica:** Pendiente recta, parte alta de la ladera
 2. **Forma del terreno circundante:** Escarpado (35%)
 3. **Microtopografía:**
- **Pendiente donde el perfil está situado:** Escarpado (34%)
- **Uso de la tierra:** Pastos
- **Clima:** Clima semi-húmedo de sabana tropical posee una temperatura entre los 25° y 27° Celsius y su precipitación varía entre los 1000 y 1200 mm.

II. Información general acerca del suelo

- **Material originario:** Localizado en la zona central del Grupo Matagalpa Superior, cuya edad se extiende desde el Eoceno superior, hasta el Mioceno medio. Esta formación está constituida por andesita- basalto y brecha aglomerado (lahar rojizo).
- **Drenaje:** Bien drenado
- **Condiciones de humedad del perfil:** Perfil seco en su totalidad
- **Profundidad a la capa freática:** Desconocido

- **Presencia de piedras en la superficie o afloramientos rocosos:** Pocas gravas finas y medias
- **Evidencia de erosión:** Moderada evidencia de erosión hídrica
- **Influencia humana:** Vegetación ligeramente perturbada



Foto 2.

A (0 – 22/25 cm.): Gris muy oscuro (7.5YR3/1) en húmedo, arcilloso en bloques medios, finos y muy finos, duro en seco, plástico y adherente en húmedo, el límite es ondulado con abundantes poros finos y muy finos, además moderadas raíces finas.

A/B (22/25 – 28/27 cm.): Café (7.5YR4/4), arcilloso, bloque sub angulares medios, consistencia en seco es duro, en húmedo es firme y en mojado plástico y adherentes, el límite es claro, presentando poros de gruesos a medios y pocas raíces finas y muy finas. Se presenta bastante roca intemperizada de color café (7.5.YR 4/4) que al texturarlo se destruye. Existen abundantes poros finos y muy finos pocos gruesos frecuentes medios.

C: Toba producida de ceniza volcánica oligoceno - mioceno (25x10⁶ años)

El perfil de suelo es de escaso espesor, con una estructura modera pero a su vez resistente a los procesos erosivos debido a la presencia de arcilla y con una modera infiltración del agua producto a la presencia de pequeñas fractura, en el suelo, así como, un proceso de meteorización de la roca bastante avanzado lo que conduce a un movimiento del agua en diferentes dirección.